



جهان انرژی

دانشگاه صنعتی مازندران

تفسیر مفهومی

ارزیابی همش‌های فناوری انرژی

نویسندگان این شماره:

علیرضا تیله کوبی، مریم هاشمی نژاد، علی فریادس، و عباس مکی

۱۳ بهمن ۱۴۰۳

Brent Crude Oil (\$/barrel)		WTI Crude Oil (\$/barrel)	
24/01/2025	31/01/2025	24/01/2025	31/01/2025
79.19	76.76	75.61	72.58
Henry Hub Natural Gas (\$/MMBtu)		Europe & Asia Natural Gas (\$/MMBtu)	
24/01/2025	31/01/2025	24/01/2025	31/01/2025
3.97	3.04	15.27 14.41	14.75 13.98

قیمت‌های انواع نفت خام و گاز طبیعی صبح امروز شنبه ۱۳ بهمن نسبت به هفته گذشته همچنان با کاهش روبرو بوده است. بهای معاملات آتی نفت «برنت» از ۸۰,۷۹ دلار به ازای هر بشکه در روز دو هفته گذشته به ۷۶,۶ دلار رسید. یعنی از کردور ۸۰ دلاری به ۷۰ دلاری بازگشت. در سال جدید شاهد افزایش قیمت نفت خام پس از اعمال تحریم‌های جدید دولت بایدن علیه روسیه و کاهش بی سابقه دما در آمریکای شمالی و اروپا بودیم. حمله پهبادی اوکراین به بند مورمانسک یکی از پایانه‌های اصلی صدور نفت خام روسیه وضعیت را بغرنج نموده است. گفته می‌شود روسیه بجای متوقف کردن حمل نفت خام و ال. ان. جی. توسط ناوگان سایه، به اسکورت کردن آنها در آبهای شمال اروپا اقدام نموده است. به تدریج مصرف کنندگان نفت روسیه مانند چین و هند، علاوه بر دور زدن تحریم‌ها به تامین نفت خام از دیگر نقاط جهان از جمله خاورمیانه، آفریقا، و آمریکای لاتین روخواهند آورد. رویترز گزارش داده که خریداران نفت خام روسیه برای پالایش در پالایشگاه‌های هند مجدداً سفارش نفت روسیه را از سرگرفته اند، اما این بار درخواست تخفیف بیشتری دارند. نرخ حمل و نقل نفت خام روسیه با نفتکش‌های بزرگ (VLCC) از مورمانسک تا هند از ۴,۹ میلیون دلار در قبل از تحریم‌های آمریکا به بالاتر از ۶ میلیون دلار رسیده است. آمار نشان می‌دهد که تعداد محموله‌های نفت خام انتقالی از خلیج فارس به آسیای دور در ماه ژانویه نسبت به دسامبر افزایش نشان داده است. این افزایش می‌تواند به منزله بیشتر شدن سفارشات چین و هند از نفت خلیج فارس تلقی گردد. از طرف دیگر با اظهارنظرهای متناقض ترامپ و از جمله این نکته که به اوپک فشار وارد خواهد آورد تا با افزایش تولید و کاهش هزینه قیمت نفت خام را پایین بیاورد، هم اکنون شاهد کاهش قیمت نفت شاخص برنت هستیم. اوپک پلاس هفته آینده جلسه خواهد داشت و اگر تمایلی به اجرای توصیه‌های ترامپ داشته باشند می‌توان گفت که از ابتدای آوریل تولید اوپک پلاس؛ با رفع کاهش‌های تعهد شده در ۲۰۲۳، افزایش خواهد یافت.

قیمت نفت «وست تگزاس اینترمدییت» در بازار کاشینگ صبح امروز به قیمت ۷۲,۵۳ دلار هر بشکه رسید که نسبت به دو هفته گذشته ۷ دلار کاهش دارد. اولین نکته آن است که بنابر تصمیم فدرال رزرو، کم کردن نرخ بهره بانکی دیگر تا اطلاع ثانوی در دستور کار این بانک نیست. این به معنای تثبیت سرمایه‌گذاری در بخش نفت به همین اندازه فعلی است. دومین نکته به دستور ترامپ بر وضع تعرفه‌های جدید باز می‌گردد. وزیر بازرگانی منتخب ترامپ گفته بود که اعمال تعرفه‌ها منوط به اتخاذ سیاست‌های جدید از سوی دو همسایه آمریکا علیه ورود مهاجرین غیرقانونی به خاک ایالات متحده و تجارت فنتالین باز می‌گردد. مشخص نیست که او می‌خواهد چگونه بر نفت خام و گاز وارداتی از کانادا و مکزیک ۲۵ درصد تعرفه اعمال نماید. در روز ۴ میلیون بشکه از نفت صادراتی کانادا وارد ایالات متحده برای پالایش می‌شود. سخنگوی کاخ سفید گفت که وضع تعرفه‌ها بر کانادا،

مکزیک، و چین از ابتدای فوریه شروع خواهد شد. قبل از آن رویترز از شروع اعمال تعرفه از ابتدای مارس خبر داده بود. به گفته کارشناس گلدمن ساکس این به معنای کمتر تولید کردن نفت خام توسط مالکان کانادایی حوزه‌های نفتی و نتیجتاً بالارفتن قیمت فرآورده در آمریکا و نهایتاً کاهش تقاضا در سطح جهانی خواهد شد. لازم به یادآوری است که فاصله میان هزینه تمام شده نفت خام با قیمت بازار در کانادا بسیار کمتر از این فاصله برای تولیدکنندگان خاورمیانه ایست. گلدمن ساکس پیش بینی خود از قیمت نفت خام را برای سال ۲۰۲۵ اندکی بالا برده و اکنون معتقد است که قیمت نفت برنت در ۲۰۲۵ و ۲۰۲۶ هر بشکه ۷۸ دلار است. قبلاً این بانک آمریکایی قیمت ۷۶ دلار را برآورد نموده بود. به نظر این موسسه مالی اوج قیمت در ماه‌های آوریل و مه ۲۰۲۵ اتفاق افتاده و قیمت نفت برنت به ۸۰ دلار هر بشکه صعود خواهد کرد.

گاز طبیعی در هنری هاب در آمریکای شمالی به قیمت ۳,۰۴ دلار به ازای هر میلیون واحد حرارتی انگلیسی (بی.تی.یو.) فروخته شد که نسبت به دو هفته گذشته یک دلار قیمت آن کمتر شده است. قیمت یک میلیون بی.تی.یو. از گاز طبیعی در بندر روتردام در اروپا از ۱۵,۲۷ دلار بر هر میلیون بی.تی.یو. به ۱۴,۷۵ دلار رسید که نشان دهنده کمتر شدن حجم سرما و توفان قطبی در اروپاست. گاز طبیعی مایع شده (ال.ان.جی.) در ساحل کره و ژاپن به قیمت ۱۳,۹۱ دلار فروخته شد که با مقایسه با هفته قبل یعنی ۱۴,۴۱ دلار بر هر میلیون بی.تی.یو. نیم دلار کاهش یافته است.

از نرخ ۴.۷ درصدی در سه ماهه دوم بود. از این رو، بانک جهانی پیش‌بینی کرده است که رشد تولید ناخالص داخلی چین در سال ۲۰۲۵ به ۴.۵ درصد کاهش یابد، که کمتر از هدف ۵ درصدی دولت چین است.

➤ **افت بازارهای سهام:** نگرانی‌ها درباره استارت‌آپ هوش مصنوعی چینی به نام «دیپ‌سیک» منجر به افت شدید در بازارهای سهام آمریکا شده است. این افت در بازارهای سهام، احساسات منفی را در بازار نفت تقویت کرده و باعث کاهش قیمت‌ها شده است. علاوه بر این، تحلیلگران اشاره کرده‌اند که معامله‌گران الگوریتمی با عبور قیمت نفت از محدوده ۷۵ دلار به ازای هر بشکه، موقعیت‌های خرید خود را کاهش داده‌اند که این امر نیز به فشار نزولی بر قیمت نفت افزوده است.

➤ **سیاست‌های انرژی ترامپ و افزایش عرضه:** دونالد ترامپ در نخستین روز بازگشت به کاخ سفید با صدور چندین بیانیه و دستور اجرایی، سیاست‌های انرژی ایالات متحده را تحت تأثیر قرار داد. ترامپ در سخنرانی افتتاحیه خود وعده داد که با اعلام «وضعیت اضطراری ملی انرژی» از اختیارات خود برای کاهش قیمت انرژی، پر کردن ذخایر استراتژیک آمریکا، و افزایش صادرات انرژی به سراسر جهان استفاده کند. برخی کارشناسان معتقدند که ایالات متحده باید از این فرصت برای تضمین صادرات بلندمدت گاز طبیعی مایع‌شده (ال‌ان‌جی) به اروپا استفاده کند تا به‌طور دائمی جایگزین گاز طبیعی روسیه شود. این امر می‌تواند به کاهش وابستگی اروپا به انرژی

➤ **نگرانی‌های مربوط به سیاست‌های تجاری:** در ۲۹ ژانویه ۲۰۲۵، قیمت نفت خام وست تگزاس اینترمدیت (WTI) به دلیل نگرانی‌های ناشی از سیاست‌های تجاری ترامپ و تصمیمات اقتصادی، با افت ۱.۶ درصدی به زیر ۷۳ دلار در هر بشکه رسید. اظهارات هاوارد لوتنیک، وزیر بازرگانی منتخب، درباره احتمال اعمال تعرفه بر کانادا و مکزیک تأثیر منفی بر بازار گذاشت. از سوی دیگر، تصمیم فدرال رزرو برای ثابت نگه داشتن نرخ بهره نیز باعث کاهش خوش‌بینی نسبت به تقاضای نفت شد. دونالد ترامپ به‌طور فزاینده‌ای به استفاده از تعرفه‌ها به‌عنوان ابزار اصلی در سیاست‌های تجاری و خارجی خود روی آورده است. به‌عنوان مثال اعمال تعرفه‌ها علیه کلمبیا به دلیل مسائل مهاجرتی و تهدید به اقدام مشابه علیه چین، کانادا، مکزیک و اتحادیه اروپا، باعث افزایش عدم اطمینان در بازارها شده است.

➤ **کاهش فعالیت‌های اقتصادی در چین:** در ابتدای سال ۲۰۲۵، فعالیت‌های اقتصادی در چین، بزرگ‌ترین واردکننده نفت جهان، کاهش یافته است. فعالیت‌های کارخانه‌ای در این کشور سیر نزولی داشته و این امر نشان‌دهنده کاهش تقاضا برای نفت است. این کاهش عمدتاً به دلیل مشکلات داخلی مانند سیاست‌های سخت‌گیرانه بهداشتی، رکود بخش تولید و ضعف در بازار املاک بود. علاوه بر این، کاهش تقاضای داخلی در چین باعث کاهش نیاز به سوخت‌های فسیلی برای بخش‌های حمل‌ونقل و صنعت شده است. در سه ماهه سوم سال ۲۰۲۴ نیز تولید ناخالص داخلی چین با نرخ ۴.۶ درصد رشد کرد که کمتر

می‌کند. پیش‌تر دادگاه استیناف ناحیه کلمبیا تأییدیه این کمیسیون را به دلیل عدم ارزیابی کافی از تأثیرات گازهای گلخانه‌ای لغو کرده بود. با این حال در تصمیم جدید خود بیان کرد که مزایای این پروژه برای مشتریان، از جمله جلوگیری از کمبود گاز در روزهای اوج مصرف و کاهش هزینه‌ها با استفاده از گاز ارزان‌تر از شیل، بر ریسک‌های زیست‌محیطی و آب‌وهوایی آن غلبه دارد.

➤ **ساخت خط لوله گاز از روسیه به ایران:** در ژانویه ۲۰۲۵، ولادیمیر پوتین از برنامه‌ریزی برای ساخت خط لوله گاز به ایران خبر داد که هدف آن انتقال سالانه تا ۵۵ میلیارد متر مکعب گاز به این کشور است. این اقدام در چارچوب همکاری‌های انرژی میان ایران و روسیه صورت می‌گیرد. در ژوئیه ۲۰۲۲، شرکت گازپروم روسیه و شرکت ملی نفت ایران یک تفاهم‌نامه به ارزش حدود ۴۰ میلیارد دلار امضا کردند که بر اساس آن، گازپروم به توسعه میادین گازی کیش و پارس شمالی و همچنین شش میدان نفتی ایران کمک می‌کند. همچنین، در ژوئن ۲۰۲۴، گازپروم و شرکت ملی گاز ایران تفاهم‌نامه‌ای برای تأمین گاز خط لوله‌ای از روسیه به ایران امضا کردند که هدف اولیه آن تأمین ۲ میلیارد متر مکعب گاز در سال است و ممکن است از طریق جمهوری آذربایجان منتقل شود. انتقال گاز از روسیه به ایران می‌تواند به تأمین نیازهای داخلی ایران کمک کرده و همچنین امکان صادرات گاز به کشورهای دیگر را فراهم آورد. با این حال، مسیر انتقال گاز از طریق جمهوری آذربایجان با چالش‌های جدی مواجه است، زیرا آذربایجان خود تولیدکننده گاز است و منافع اقتصادی و سیاسی خود را در نظر می‌گیرد.

روسیه و تقویت روابط اقتصادی ترانس‌آتلانتیک کمک کند. همچنین، پیشنهاد شده است که وزارت بهره‌وری دولت (DOGE) با استفاده از فناوری‌های هوش مصنوعی، فرآیندهای بررسی محیط‌زیستی را تسریع کرده تا پروژه‌های توسعه‌ای مهم و ایجاد اشتغال با سرعت بیشتری پیش بروند. هرچند سیاست انرژی ترامپ مبنی بر افزایش تولید نفت و گاز از طریق کاهش محدودیت‌ها و تسهیل استخراج سوخت‌های فسیلی، به نفع شرکت‌های نفتی است، اما این شرکت‌ها تنها در صورتی که قیمت‌ها به طور قابل توجهی افزایش یابد، تولید خود را افزایش خواهند داد. همچنین طبق تحلیل‌های ریستاد انرژی احتمال افزایش قابل توجه تولید نفت در ایالات متحده در آینده نزدیک کم است. با توجه به کاهش ذخایر میادین نفتی پس از ۲۰۳۰ و کاهش تمرکز صنعت بر روی رشد بیشتر و توجه بیشتر بر بازدهی سرمایه‌گذاری، حتی تسریع در صدور مجوزها نمی‌تواند به طور قابل توجهی تولید را افزایش دهد. در بخش ال‌ان‌جی نیز با اینکه تغییرات سیاستی مثل از سرگیری صدور مجوزها ممکن است پروژه‌ها را اولویت‌بندی کند، تاثیر قابل توجهی بر تعداد پروژه‌ها نخواهد گذاشت.

➤ **افزایش تولید گاز شیل در ایالات متحده:** در ۲۹ ژانویه ۲۰۲۵ «کمیسیون فدرال تنظیم‌گری انرژی» ایالات متحده مجدداً تأییدیه خود را برای پروژه توسعه خط لوله گاز طبیعی شرکت ترانسکو صادر کرد. این پروژه که با نام «گسترش دسترسی به انرژی منطقه‌ای» شناخته می‌شود، از اوت ۲۰۲۴ عملیاتی شده و ظرفیت انتقال روزانه ۸۲۹,۴۰۰ میلیون بی.تی.یو. گاز طبیعی را از شمال شرقی پنسیلوانیا به نقاط تحویل در این ایالت و همچنین مریلند و نیوجرسی فراهم

۱۰۰ حمله به کشتی‌های تجاری، عمدتاً شامل شلیک موشک‌ها و استفاده از پهپادها، کرده که باعث ایجاد نگرانی در بین شرکت‌های حمل‌ونقل دریایی شده است. با وجود اینکه اخیراً توافق آتش‌بس میان اسرائیل و حماس به وقوع پیوسته و وضعیت امنیتی در منطقه کمی بهتر شده است، این شرکت همچنان از عبور از دریای سرخ خودداری کرده و به‌طور خاص از مسیرهای جایگزین که به اطراف دماغه امید نیک می‌روند، استفاده می‌کند. اگرچه در این صورت کشتی‌ها باید مسیر طولانی‌تری را طی کنند. بسیاری از شرکت‌های کشتیرانی دیگر نیز به دلیل تهدیدات مشابه از عبور از این منطقه خودداری کرده‌اند و این تغییرات در مسیرها می‌تواند هزینه‌ها و زمان حمل‌ونقل را افزایش دهد.

➤ کاهش تولید گاز طبیعی در ایران: آژانس

بین‌المللی انرژی در گزارش اخیر خود اعلام کرده که رشد تولید گاز طبیعی ایران در ۲۰۲۴ به کمتر از ۲ درصد کاهش یافته و پیش‌بینی می‌شود این رشد در سال جاری میلادی تنها به ۱ درصد برسد. این در حالی است که در دهه گذشته، ایران به‌طور متوسط سالانه بیش از ۵ درصد افزایش در تولید گاز را تجربه کرده بود. یکی از دلایل اصلی این کاهش رشد، ناتوانی ایران در توسعه میادین گازی جدید است. این مسئله، همراه با افزایش سالانه بیش از ۵ درصدی تقاضای داخلی، منجر به کمبود قابل توجه گاز در فصول سرد سال شده است. در سال ۱۴۰۳، این کمبود به تمامی فصول سال گسترش یافته است. علاوه بر این، ایران به دلیل عدم نصب تجهیزات مناسب برای جمع‌آوری گاز در میادین نفتی، سالانه بیش از ۲۰ میلیارد متر مکعب گاز را در فرآیند مشعل‌سوزی هدر می‌دهد. این مقدار

➤ پایبندی اوپک پلاس به توافق کاهش تولید:

بر اساس نظر تحلیل‌گر بانک خصوصی اسکاندیناوی احتمال اینکه ترامپ بتواند محمد بن سلمان، ولیعهد عربستان سعودی را متقاعد به افزایش تولید نفت کند، بسیار کم است. عربستان در چارچوب توافق اوپک پلاس عمل کرده و برنامه‌ای برای خروج از این سازمان به منظور کمک به کاهش قیمت نفت ندارد. هرچند، در صورتی که تحریم‌های جدید آمریکا منجر به کاهش تولید و صادرات نفت از کشورهایی مانند ایران، ونزوئلا، و احتمالاً روسیه شود، ممکن است عربستان سعودی افزایش تولید را بپذیرد. اما این اقدام تنها برای جبران کمبود عرضه خواهد بود. عربستان سعودی به قیمتی در حدود ۸۰ دلار برای هر بشکه نفت نیاز دارد. در ۵ دسامبر ۲۰۲۴ اوپک اعلام کرد که سطح تولید مورد نیاز برای عربستان سعودی در سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۲۶ برابر با ۱۰.۴۷۸ میلیون بشکه در روز است. همچنین، عربستان و هفت کشور دیگر اوپک پلاس تصمیم گرفتند تا کاهش تولید داوطلبانه ۱.۶۵ میلیون بشکه در روز را که در آوریل ۲۰۲۳ اعلام شده بود، تا پایان دسامبر ۲۰۲۶ تمدید کنند. این کشورها همچنین کاهش تولید داوطلبانه ۲.۲ میلیون بشکه در روز را که در نوامبر ۲۰۲۳ اعلام شده بود، تا پایان مارس ۲۰۲۵ تمدید کردند و این کاهش‌ها به تدریج تا پایان سپتامبر ۲۰۲۶ حذف خواهند شد.

➤ تهدیدات امنیتی در دریای سرخ: شرکت

حمل‌ونقل دریایی فرانسوی CMA CGM از تصمیم خود برای اجتناب از عبور کشتی‌هایش از دریای سرخ در پی حملات انصارالله یمن خبر داده است. یمن از نوامبر ۲۰۲۳ اقدام به بیش از

معادل ۴۰ درصد از کل مصرف گاز ترکیه است و ارزش آن حدود ۸ میلیارد دلار برآورد می‌شود. در مقابل، کشورهایمانند عربستان سعودی با نصب تجهیزات جمع‌میزان مشعل‌سوزی خود را به‌طور قابل‌توجهی کاهش داده‌اند.

➤ ادامه تنش‌ها میان روسیه و اوکراین: در ۲۹

ژانویه ۲۰۲۵، وزارت دفاع روسیه تأیید کرد که یک پهپاد اوکراینی در منطقه مورمانسک توسط نیروهای پدافند هوایی سرنگون شده است. مورمانسک پایانه مهم نفتی و گازی روسیه در نزدیکی سن‌پترزبورگ است. این حمله در پی افزایش حملات پهپادی اوکراین به اهداف نظامی و صنعتی در شمال غرب روسیه صورت گرفته است. در روزهای اخیر، مناطق اسمولنسک و تور به همراه پالایشگاه نفت لوکاویل در کسوتوو هدف قرار گرفته‌اند. همچنین، فرودگاه‌های متعددی در شمال غرب روسیه، از جمله فرودگاه پولکوو در سن‌پترزبورگ و فرودگاه مورمانسک، به‌طور موقت تعطیل شده‌اند.

ارزیابی جهش‌های فناوری انرژی

خلاصه: ایده «جهش فناوری انرژی» این است که بازارهای نوظهور ممکن است با دور زدن مسیرهای رشد بازارهای توسعه یافته امروزی، مستقیماً به سراغ فناوری‌های پاک‌تر که مبتنی بر سوخت‌های فسیلی نیستند بروند. گذار به تلفن همراه در منطقه جنوب صحرای آفریقا نمونه‌ای شناخته شده از یک جهش موفق فناوری محسوب می‌شود. با در نظر گرفتن سه ویژگی کلیدی این گذار فناوری در تلفن همراه — (۱) نمایش قبلی در بازارهای توسعه یافته، (۲) کارآمدی فناوری به‌عنوان راه‌حلی جایگزین که نیاز به ساخت زیرساخت‌های پرهزینه و منسوخ را برطرف می‌کند، و (۳) ارائه‌ی عملکردی معادل (یا بهتر) برای کاربران — می‌توانیم بهتر ارزیابی کنیم که کدام فناوری‌های انرژی گزینه‌های مناسبی برای جهش فناوری هستند.

چرا این موضوع مهم است: پذیرش بدون بررسی دقیق جهش‌های فناوری می‌تواند به تصمیمات نادرست منجر شود. برخی فناوری‌های جدید مانند «هیدروژن سبز» هنوز در مقیاس وسیع اقتصادی یا عملیاتی اثبات نشده‌اند و ممکن است توجه را از راه‌حل‌های اثبات شده منحرف کنند.

دیدگاه گلدمبرگ درباره جهش فناوری در انرژی

در مقاله‌ای تأثیرگذار در سال ۱۹۹۸، دانشمند و وزیر محیط زیست برزیلی خوزه گلدمبرگ پیشنهاد کرد که بازارهای نوظهور می‌توانند مستقیماً به سراغ فناوری‌های انرژی پاک‌تر و کارآمدتر بروند و مسیر توسعه آلاینده و وابسته به سوخت‌های فسیلی که بازارهای توسعه یافته طی کرده‌اند را دور بزنند.

ویژگی‌های کلیدی یک جهش فناوری موفق: گذار به تلفن همراه در آفریقا

یکی از نمونه‌های شناخته شده جهش فناوری موفق در حوزه‌ای غیر از انرژی، گسترش سریع تلفن‌های همراه در منطقه‌ی جنوب صحرای آفریقا بین اواسط دهه ۱۹۹۰ تا اواسط دهه ۲۰۰۰ بود. سه ویژگی کلیدی این گذار فناوری به موفقیت آن کمک کرد:

- (۱) این فناوری پیش‌تر در بازارهای توسعه یافته اثبات شده بود.
- (۲) این فناوری یک «راه‌حل جایگزین» برای هزینه و دشواری گسترش زیرساخت تلفن ثابت بود.
- (۳) این فناوری عملکرد برتری برای کاربران فراهم کرد.

ارزیابی جهش‌های فناوری انرژی بر اساس عوامل موفقیت تلفن‌های همراه

در جدول (۱)، جهش‌های احتمالی فناوری انرژی را بر اساس سه عاملی که به موفقیت گذار به تلفن همراه کمک کردند، امتیازدهی شده است.

فناوری جدید	فناوری اجتناب شده	اثبات شده در بازارهای توسعه یافته	جلوگیری از ساخت زیرساخت	داشتن عملکرد معادل یا بهتر
تلفن های همراه	تلفن ثابت	✓	✓	✓
برق بادی و خورشیدی شبکه ای برای برق ارزان در مقیاس وسیع	نیروگاه های سوخت فسیلی برای برق ارزان در مقیاس وسیع	✓	✓	✓
باتری ها برای تطبیق عرضه و تقاضا	واحدهای پیک برای تطبیق عرضه و تقاضا	~	✓	~
هیدروژن سبز برای تطبیق عرضه و تقاضا	واحدهای پیک برای تطبیق عرضه و تقاضا	✗	✗	؟
قیمت گذاری پویا برای تطبیق عرضه و تقاضا	واحدهای پیک برای تطبیق عرضه و تقاضا	~	✓	~
خورشیدی توزیع شده برای مصارف خانگی یا تجاری	برق شبکه ای برای مصارف خانگی یا تجاری	✓	✓	~
خورشیدی (یا سایر مینی شبکه های تجدیدپذیر) برای تمامی مصارف برق	برق شبکه ای برای تمامی مصارف برق	✗	✓	✓

✓ = معیار را برآورده می کند؛ ~ = معیار را تا حدی برآورده می کند؛ ✗ = معیار را برآورده نمی کند؛ ؟ = نامشخص

ارزیابی جهش های فناوری در گذار انرژی

- برق بادی و خورشیدی جهش های موفق برای تولید برق ارزان و انبوه در شبکه های بازارهای نوظهور هستند. با بهره گیری از کاهش چشمگیر هزینه ها در بازارهای توسعه یافته، بازارهای نوظهور موفق به نصب مزارع خورشیدی و بادی در مقیاس شبکه ای شده اند که نیاز به ساخت نیروگاه های مرکزی مبتنی بر سوخت فسیلی را به شدت کاهش می دهد.
- برق بادی و خورشیدی نیاز به جهش هایی برای تطبیق عرضه و تقاضا ایجاد می کنند. از آنجا که انرژی بادی و خورشیدی قابلیت تولید در هر زمان و مکان را ندارند، باید با فناوری های دیگری

برای تطبیق عرضه و تقاضا در شبکه ترکیب شوند. به طور سنتی، این نقش بر عهده‌ی مولدهای پیک بوده است که با سوخت‌های فسیلی، به طور ایده آل، گاز طبیعی، برای تمیزی نسبی و انعطاف‌پذیری عملیاتی کار می‌کنند.

• **باتری‌ها برای جابجایی انرژی در طول زمان هنوز در بازارهای توسعه یافته به طور کامل اثبات نشده‌اند، مگر در جایی که ظرفیت کافی برای تولید برق پشتیبان وجود داشته باشد.** ایالت کالیفرنیا در استفاده از باتری‌ها برای تطبیق عرضه و تقاضای انرژی تجدیدپذیر در طول روز پیشرو است، اما این موفقیت فقط زمانی حاصل شده که ظرفیت قابل توجهی از تولید برق پشتیبان موجود باشد (که هزینه‌ی قابل توجهی نیز دارد).

• **هیدروژن سبز در حال حاضر هیچ‌یک از ویژگی‌های یک جهش فناوری موفق را ندارد.** بازارهای توسعه یافته در حال بررسی امکان تولید «هیدروژن سبز» از طریق الکترولیز آب با انرژی تجدیدپذیر به عنوان یک حامل انرژی بدون کربن برای جبران نوسانات کوتاه‌مدت و بلندمدت در تولید بادی و خورشیدی هستند. با این حال، این فناوری هنوز از نظر اقتصادی یا عملیاتی اثبات نشده است.

• **قیمت‌گذاری پویای برق به عنوان یک جهش فناوری بالقوه ارزش بررسی دارد.** مصرف‌کنندگان برق در بازارهای توسعه یافته عمدتاً به پرداخت یک قیمت ثابت و حاشیه‌ای برای برق، بدون توجه به شرایط سیستم، عادت کرده‌اند. در بازاری که دارای سهم قابل توجهی از انرژی‌های تجدیدپذیر متغیر است، قیمت‌گذاری پویای برق به مشتریان امکان می‌دهد که در هنگام محدود بودن عرضه، تقاضای خود را کاهش داده (و در نتیجه هزینه‌های خود را کاهش دهند)، با این وجود، این رویکرد می‌تواند به عنوان یک جهش فناوری ارزش بررسی داشته باشد، زیرا:

قیمت‌گذاری پویای برق احتمالاً برای تطبیق عرضه و تقاضا در بازارهای برق با سهم بسیار بالای انرژی بادی و خورشیدی حیاتی خواهد بود. فناوری‌های کلیدی مورد نیاز برای قیمت‌گذاری پویا قبلاً اثبات شده‌اند و اجرای زودهنگام قیمت‌گذاری پویا در بازارهای برق می‌تواند به مشتریان کمک کند تا به این شیوه‌ی قیمت‌گذاری عادت کنند، که در مراحل بعدی توسعه‌ی بازارهای برق مفید خواهد بود.

• **انرژی خورشیدی توزیع شده برای کاربران تجاری و خانگی تا حدی به عنوان یک جهش فناوری موفق بوده است.** مصرف‌کنندگان تجاری و خانگی در سراسر منطقه‌ی جنوب صحرای آفریقا نشان داده‌اند که پذیرش خورشیدی توزیع شده، چه به صورت متصل به شبکه و چه مستقل از آن، با سرعت بالایی در حال گسترش است. فناوری خورشیدی توزیع شده پیش‌تر در بازارهای توسعه یافته تجاری‌سازی شده بود و در بازارهای نوظهور، به عنوان راه‌حلی جایگزین برای برق شبکه‌ای غیرقابل اعتماد یا پرهزینه عمل می‌کند.

• مینی شبکه‌های خورشیدی هنوز فاقد شواهدی از بازگشت هزینه در مقیاس سیستم هستند. مینی شبکه‌هایی که با انرژی خورشیدی (یا سایر منابع تجدیدپذیر) و با پشتیبانی باتری کار می‌کنند، می‌توانند سطوح قدرت بالاتر و انعطاف‌پذیری بیشتری برای کاربران نسبت به سیستم‌های خورشیدی توزیع شده ارائه دهند. این نوع شبکه‌ها می‌توانند به‌ویژه در مناطق دورافتاده که شبکه‌ی مرکزی به‌زودی در دسترس نخواهد بود، به‌عنوان یک راهکار مفید عمل کنند. با این حال، محدودیت آن‌ها به‌عنوان یک جهش فناوری بالقوه این است که هنوز شواهد محدودی از بازگشت سرمایه در این سیستم‌ها وجود دارد.

در حالی که دیگران ممکن است این فناوری‌ها را به روش‌های مختلف ارزیابی کنند، نکته‌ی مهم این است که مفهوم جهش فناوری انرژی که اغلب مبهم است، می‌تواند با روش‌های زیر مفیدتر شود:

• مشخص کردن اینکه کدام فناوری جدید، کدام فناوری قدیمی را جایگزین می‌کند و در چه کاربردی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

• بررسی اینکه آیا فناوری جدید دارای سه ویژگی اصلی یک جهش فناوری موفق است یا خیر: پیش‌تر در بازارهای توسعه یافته اثبات شده باشد، در بازارهای نوظهور به‌عنوان یک راه‌حل جایگزین که از هزینه‌ها و دشواری‌های ساخت زیرساخت سنتی (شامل موانع نهادی) اجتناب می‌کند، مفید باشد و برای کاربران عملکردی معادل (یا ترجیحاً بهتر از) فناوری جایگزین شده ارائه دهد.
*این گزارش تلخیصی است از مقاله زیر:

Thurber, Mark C.; "Assessing Energy Technology Leapfrogs"; *Stanford Program on Energy and Sustainable Development*; 2025