چکیده

روند روبه‌رشـد مصرف انرژی در جهان و وابسـتگی رژیم‌های کنونی انرژی به منابع رو به زوال سوخت‌های فسیلی از یک طرف و فوریت پاسخگویی به تغییرات اقلیمی ناشی از مصرف سـوخت‌های فسـیلی از سوی دیگر باعث شده اسـت تا توسعهٔ فناوری‌های کم‌کربـن بیش از پیش مـورد توجه محافل بین‌المللی قرار گیـرد. امروزه فناوری‌های جذب و ذخیره‌سـازی کربن به‌عنوان گزینه‌ای مناسـب، علاوه بر این‌که باعث کاهش انتشـار گازکربنیک در اتمسفر شـده، راه را برای گذار نرم از رژیم‌های کنونی انرژی به سمت رژیم‌های انرژی توسعهٔ پایدار فراهم می‌آورند. البته توسعهٔ این فناوری‌ها هنوز در مرحلهٔ پایلوت قرار داشته و خطرپذیری‌های فنی و اجتماعی ناشی از اجرای آن‌ها یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های محققان است.

این مقاله با بررسی فناوری‌های جذب و ذخیره‌سازی کربن و تبیین وضعیت کنونی توسعهٔ این فناوری‌ها، سـعی دارد رشد و توسـعهٔ فناوری‌های مذکور را از منظر سیاستگذاری مورد تحلیل قرار دهد. مقولهٔ جذب و ذخیره‌سـازی کربن تنها یک موضوع فنی نبوده بلکه ابعاد بسیار مهم اجتماعی، سیاسی و محیط زیستی را نیز شامل می‌شود. استدلال مقالهٔ حاضر این اسـت که در فرایند تجاری‌سـازی فناوری‌های جذب و ذخیره‌سـازی کربن، از طرفی، دولت‌ها نقش بسیار مهمی دارند، به‌طوری‌که بدون دخالت دولت‌ها رشد فناوری‌ها و ظهور نوآوری‌های مربوط به آن‌ها در عمل غیرممکن اسـت؛ از طرف دیگر، سیاسـت‌های مبتنی بر بازار به تنهایی نمی‌تواند توسعهٔ فناوری‌های مذکور را تضمین کند، بلکه سیاست‌های فناوری محور دولت‌ها و حمایت‌های هوشمندانهٔ آن‌ها از طرف عرضهٔ فناوری‌ها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

کلید واژه‌ها: جذب و ذخیره‌سازی کربن، اقتصاد کم‌کربن، سیاستگذاری فناوری.....

جذب و ذخیره‌سازی کربن سیاستگذاری فناوری برای گذار به اقتصاد کم‌کربن؟

مهدی مجیدپور
دکترای سیاست‌گذاری علم و فناوری، دانشگاه ساسکس انگلستان
پژوهشکده سیاست‌گذاری علم، فناوری و صنعت دانشگاه صنعتی شریف
m.majidpour@sussex.ac.uk

۱. مقدمه

سوخت‌های فسیلی، چندین دهه است که منبع اصلی تأمین انرژی در جهان محسوب می‌شوند. رژیم‌های کنونی مصرف انرژی با انتشار انبوهی از گازهای گلخانه‌ای پیامدهای ناگواری را برای محیط زیست و اتمسفر زمین ایجاد کرده‌اند. دامنهٔ تغییرات اقلیمی در جهان به حدی بوده است که سازمان‌های بین‌المللی برای مقابله با تهدیدهای مذکور، با فراخوانی از کشورهای مختلف و تشکیل همایش‌های جهانی درصدد نجات سیارهٔ خاکی از وضعیت ناگوار کنونی برآمده‌اند. اما پاسخگویی فوری به این چالش‌ها، تنها یک مسألهٔ زیست‌محیطی نبوده و ابعاد بسیار پیچیدهٔ فنی، سیاسی، بین‌المللی و اجتماعی دارد. حتی توسعهٔ فناوری‌های سازگار با محیط زیست نیز مستلزم اتفاق‌نظر دولتمردان جوامع و سازمان‌های بین‌المللی است. هرچند میزان مؤثر بودن فناوری‌های جدید مسألهٔ ارزشمندی است اما مهم‌تر از آن، نقش پررنگ و فعالانهٔ تمام دولت‌ها (برخلاف نقش منفعلانهٔ کنونی) در کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی و توسعهٔ رژیم‌های پایدار مصرف انرژی با استفاده از توسعهٔ فناوری‌های جدید است.

فناوری جذب و ذخیره‌سازی کربن (جذک) به‌عنوان یک مفهوم فناورانهٔ جدید، امیدهای تازه‌ای را برای گذار نرم از وضعیت ناپایدار کنونی به رژیم‌های پایدار مصرف انرژی ایجاد کرده است. این فناوری اکنون راهبرد مناسبی برای بسیاری از جوامع صنعتی محسوب می‌شود تا از طریق آن بتوانند زمان را برای تغییرات انقلابی در رژیم‌های کنونی حفظ کرده و پلی ارتباطی بین وضعیت ناپایدار کنونی و وضعیت آرمانی پایدار آینده برقرار کنند. البته هنوز میزان اثربخشی فناوری جذک، با توجه به وجود خطرپذیری‌های فنی، اجتماعی و اقتصادی، در هاله‌ای از ابهام قرار دارد و برخی از محققان بر این باورند که فناوری مذکور با ترغیب هرچه بیشتر مصرف سوخت‌های فسیلی راه را برای توسعهٔ فناوری‌های جایگزین مسدود می‌کند. اما نکتهٔ مورد توجه برای توسعه‌دهندگان فناوری جذک، سازگاری این فناوری با ساختار کنونی تأمین انرژی برق در جهان و مصالحهٔ آن با سوخت‌های فسیلی است. این مقاله در پی رد یا تصدیق ادعاهای فوق نیست بلکه سه هدف عمدهٔ زیر را دنبال می‌کند:

- شناخت ابعاد مختلف فناوری جذک قبل از هرگونه سیاستگذاری، ضرورت دارد. سیاستگذاری هوشمندانه بدون شناخت تمامی ابعاد و خطرپذیری‌های فنی، اجتماعی، زیست‌محیطی و سیاسی تحقق نمی‌یابد. گسترش آگاهی و سطح دانش در این زمینه اولین و مهم‌ترین لایهٔ تصمیم‌های مدیریتی کلان کشور است.
- نوع ارتباط فناوری جذک با چالش‌های زیست‌محیطی بسیار مهم است. فوریت پاسخگویی به دغدغه‌های تغییرات اقلیمی ضرورت تحلیل این نکته را ایجاب می‌کند که فناوری مذبور با چه رویکردی و از چه ساختارهایی می‌تواند در رفع نگرانی‌های جهانی مفید واقع شود. همچنین بایستی مشخص شود که آیا فناوری جذک می‌تواند در آیندهٔ نزدیک پاسخگوی موارد مذکور باشد یا به‌عنوان راهبردی بلندمدت مطرح است؟
- نگرش اقتصادی و استفاده کردن صرف از ساختارهای بازار نمی‌تواند متضمن رشد و توسعهٔ فناوری جذک باشد. درواقع این مقوله یک چالش سیاستگذاری فناوری است که در آن با اتخاذ راهبردهای هوشمندانه می‌توان نخست بر چالش‌هایی از جنس‌های مختلف فائق آمد و سپس باعث تقویت توانمندی‌های لازم برای رشد و توسعهٔ فناوری‌ها شد.

این مقاله با بررسی فناوری‌های مختلف جذک و تبیین وضعیت کنونی این فناوری‌ها، رشد و توسعهٔ فناوری‌های مذکور را از منظر سیاستگذاری مورد تحلیل قرار می‌دهد.

۲. دسته‌بندی انواع فناوری‌های جذک

فرایند جذب و ذخیره‌سازی کربن شامل ۳مرحلهٔ اصلی است که هر کدام از این مراحل می‌تواند به کمک فناوری‌های مختلفی انجام شود: نخست) جداسازی گازکربنیک از فرایند صنعتی، دوم) انتقال تا محل ذخیره‌سازی و سوم) ذخیره‌سازی بلندمدت در مکان‌های مخصوص برای دفن گازکربنیک.

هرچند امروزه فناوری جذک بیشتر با صنایع احتراق محور (نیروگاه‌های فسیلی، صنعت سیمان، کوره‌های صنعتی و کارخانه‌های تولید آهن و فولاد) در ارتباط بوده و به‌عنوان یک فناوری جدید محسوب می‌شود؛ اما از سال‌ها قبل فناوری‌های مشابه جذک در صنعت نفت و گاز استفاده شده و شواهد و قرائن نشان می‌دهد که این فناوری از قدمت طولانی در صنعت نفت برخوردار است؛ [۱] به‌طوری‌که از دههٔ ۱۹۷۰ برای بازیافت نفت، گازکربنیک به داخل چاه‌های نفت تزریق می‌شده است. [۲] اما آنچه امروزه به‌عنوان فناوری جذک تازگی داشته و هنوز در مرحلهٔ توسعه قرار دارد، مقولهٔ جذک با تمرکز بر کاهش آلایندهٔ گازکربنیک در صنایع انرژی‌محور است. به عبارت دیگر، در فناوری تزریق گازکربنیک به چاه‌های نفت و گاز در صنایع نفت و گاز، نگرانی از بابت میزان این گاز، نشتی آن و ماندگاری طولانی‌مدت آن وجود ندارد درصورتی‌که در فناوری جذک امروزی بنیان کار بر جذب هرچه بیشتر گازکربنیک و ذخیره‌سازی آن برای مدت بی‌نهایت است. [۲]

از منظر فناوری، فناوری‌های جذک به ۳دستهٔ کلی «جذب کربن، انتقال کربن و ذخیره‌سازی آن» تقسیم‌بندی می‌شوند که در ادامه به توضیح هریک پرداخته می‌شود.

۲-۱. فناوری‌های جذب گازکربنیک

این فناوری‌ها به ۳دستهٔ «پسا- احتراق، پیش- احتراق و احتراق اکسیژنی» تقسیم می‌شوند که این دسته‌بندی بر مبنای نوع فرایند جداسازی گازکربنیک حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی است. در این دسته از فناوری‌ها، صنعت تولید برق و صنعت نفت و گاز با یکدیگر همپوشانی دارند.

■ **پسااحتراق:** این فناوری بر مبنای جداسازی گازکربنیک پس از احتراق سوخت در سیستم‌های صنایع احتراق محور است. در این صنایع سوخت‌های فسیلی با هوا محترق می‌شوند و انبوه گازهای محترق در فشار اتمسفریک خارج شده و سپس گازکربنیک آن‌ها توسط حلّالی جداسازی می‌شود. میزان گازکربنیک موجود در گازهای محترق می‌تواند از ۳درصد حجم کل در نیروگاه‌های گازی تا ۱۵درصد در نیروگاه‌های پایهٔ ذغال‌سنگ متفاوت باشد. [۳] فناوری جذک در حالت پسااحتراق، جاافتاده‌ترین و قدیمی‌ترین فناوری در بین فناوری‌های جذک است.

■ **پیش‌احتراق:** در این فناوری سوخت اولیه در یک رآکتور با آب و هوا (یا اکسیژن) مخلوط می‌شود، نتیجه مخلوط تولید گاز مونوکسیدکربن به همراه هیدروژن است. در فرایند بعدی گاز مونوکسیدکربن به همراه بخار بار دیگر واکنش داده شده و در نتیجه هیدروژن بیشتری به همراه گازکربنیک به‌دست می‌اید. بنابراین در نهایت سوخت اولیه به گازکربنیک و سوخت قابل احتراقی که فاقد کربن است (همانند هیدروژن) تبدیل می‌شود. این فناوری مرتبط‌ترین فناوری برای نیروگاه‌های چرخهٔ ترکیبی گاز تلفیق‌شده[1] است که در آن‌ها سوخت جامد (ذغال‌سنگ) به گازکربنیک، مونوکسیدکربن و هیدروژن تبدیل می‌شود. [۲] این فناوری نسبت به فناوری پسااحتراق پرهزینه بوده اما میزان چگالی گازکربنیکی که به‌دست می‌اید بیشتر است و در نتیجه فرایند بازده بیشتری دارد. [۳]

■ **احتراق اکسیژنی:** در این فناوری، سوخت به‌جای احتراق با هوا، با اکسیژن به‌علاوهٔ گازکربنیک بازیافتی می‌سوزد و در نتیجه گازهای خروجی شامل گازکربنیک فشرده‌شده، بخار آب و مقدار اندکی از سایر گازهای آلاینده (از جمله نیتروژن) است. این فناوری هنوز در مرحلهٔ تحقیق و توسعه قرار داشته و تا تجاری‌سازی کامل فاصله دارد.

امروزه فناوری‌های پسا- احتراق و پیش- احتراق می‌توانند ۸۵ تا ۹۵درصد گازکربنیک را جذب کنند و جذب بیش از این مقدار نیاز به هزینهٔ بالا و همچنین استفاده از تجهیزات گسترده‌تر از تجهیزات امروزی دارد. فناوری احتراق اکسیژنی نیز با این‌که از نظر علمی (تئوری) قادر به جذب ۱۰۰درصد گازکربنیک است، اما به دلیل فرایندهای اضافی

که بر روی گازهای خروجی به جهت جداسازی اکسیدهای نیتروژن و سولفور انجام می‌شود، میزان خالص جذب کربن این روش درواقع حدود ۹۰درصد است. [۳]

۲-۲. فناوری‌های انتقال کربن

در رابطه با انتقال کربن اغلب ۳دسته‌بندی مختلف برای جذک مدنظر قرار می‌گیرد:

- **خطوط انتقال کربن:** از آنجایی‌که استفاده از خطوط انتقال گازکربنیک برای بازیافت چاه‌های نفت سال‌ها قدمت دارد، این فناوری امروزه شناخته‌شده بوده و به‌راحتی قابل اجرا و تجاری‌سازی است. فناوری‌های مربوط به تشخیص و پیشگیری از نشتی نیز در سال‌های گذشته تا حدودی توسعه یافته و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. امروزه انتقال گازکربنیک با خطوط لوله به‌عنوان اقتصادی‌ترین و محتمل‌ترین گزینه در فناوری جذک مطرح است.
- **انتقال با کشتی:** انتقال گازکربنیک با استفاده از خطوط کشتیرانی همانند انتقال گاز مایع فشرده[۲] است. فناوری‌های مربوطه همانند خطوط انتقال کربن جاافتاده بوده و در سال‌های گذشته مورد استفاده قرار گرفته‌اند. هزینهٔ کلی انتقال با خطوط لوله پایین‌تر از انتقال با کشتی است و در اصل حمل گازکربنیک با کشتی در فواصل بسیار طولانی مقرون‌به‌صرفه است.
- **انتقال جاده‌ای و ریلی:** انتقال جاده‌ای و ریلی گزینه‌های مناسبی برای انتقال در مقیاس کوچک هستند. باید توجه داشت که برای حجم بالای گازکربنیک به‌کارگیری این راه‌حل چندان اقتصادی نیست.

۲-۳. فناوری‌های ذخیره‌سازی کربن

ذخیره‌سازی کربن به ۳دستهٔ کلی «ذخیره‌سازی در چاه‌های نفت و گاز[۳]، ذخیره‌سازی در اعماق اقیانوس‌ها[۴] و ذخیره‌سازی در معادن[۵]» تقسیم می‌شود. باید توجه داشت که در فناوری جذک، ذخیره‌سازی کربن نه با رویکرد استحصال بیشتر نفت از میادین نفتی، بلکه با هدف ذخیره‌سازی بلندمدت انجام می‌گیرد. همچنین از آنجایی‌که مکان‌های ذخیره‌سازی کربن همواره در معرض خطرپذیری نشتی گازکربنیک و آلایندگی هستند، باید هر اقدامی دراین‌باره تابع قوانین ملی و بین‌المللی باشد. [۲] کشورهای صنعتی معمولاً خاورمیانه، آفریقا و برخی نواحی شوروی سابق را مکان‌های مناسبی برای ذخیره‌سازی تلقی می‌کنند.

۳. پیشران‌های توسعهٔ فناوری‌های جذک

گزارش‌های معتبر جهانی در رابطه با مصرف سوخت‌های فسیلی (نفت، ذغال‌سنگ، و گاز) نشان می‌دهد که امروزه این سوخت‌ها بیش از ۸۰ درصد انرژی جهان را تأمین می‌کنند. [۴]، [۵]

پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که سوخت‌های فسیلی همچنان منبع غالب تأمین انرژی جهان تا سال ۲۰۳۰ خواهند بود به‌طوری‌که در سال ۲۰۳۰ بیش از دو سوم انرژی جهان از طریق سوخت‌های فسیلی تأمین خواهد شد. [۶]، [۷]

این آمارها به‌خصوص در بخش تأمین برق جهان پررنگ‌تر است. به‌طور مثال آمارهای آژانس بین‌المللی انرژی نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۵ در کشورهای هند و چین بیش از ۹۰درصد برق تولیدی از سوخت‌های فسیلی بوده است که سهم ذغال‌سنگ بیش از ۸۰درصد از این مقدار است. [۸] پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد این دو کشور که با نرخ بسیار بالایی در جهان در حال صنعتی شدن هستند، در سال ۲۰۳۰، بیش از ۸۰درصد برق خود را از طریق سوخت‌های فسیلی تأمین خواهند کرد. از طرفی، با وجود تلاش فراوان کشورهای اروپایی برای توسعهٔ زیرساخت‌های تأمین برق از طریق منابع تجدیدپذیر، سوخت‌های فسیلی منبع اصلی تأمین برق این کشورها تا سال ۲۰۳۰ هستند و حداکثر موفقیت آن‌ها می‌تواند در جایگزینی گاز طبیعی باشد.

از طرف دیگر، امروزه اولویت داشتن مبحث تغییرات اقلیمی در جهان به‌خوبی درک می‌شود و همایش‌های جهانی تغییرات اقلیمی در حالی برگزار می‌شوند که مردمان کشورهای مختلف به سیاستمداران خود فشار زیادی وارد می‌کنند تا هرچه سریع‌تر برای مقابله با تغییرات اقلیمی کرهٔ زمین راهکاری اساسی بیابند. بین میزان انتشار گازکربنیک در اتمسفر و تغییرات دمایی کرهٔ زمین ارتباط تنگاتنگی وجود دارد و همین موضوع باعث شده تا سیاستگذاران لزوم تغییر در الگوهای فعلی تولید و مصرف انرژی را بیش از پیش درک کنند. اما تا به امروز جهان

فاقد یک مسیر عمومی برای رسیدن به آینده‌ای امن و پایدار در استفاده از منابع انرژی هم در سطح کشورها و هم در سطح جهانی است. [۹] برای همین، دولت‌ها امروزه دیگر نمی‌توانند فقط به ساختارهای بازار برای رشد و توسعهٔ فناوری‌ها تکیه کنند و مجبورند از ظهور نوآوری‌های تدریجی یا رادیکال در فناوری‌های انرژی محور حمایت کنند. بر این مبنا فناوری جذک از طرف سیاستگذاران انرژی کشورها به‌عنوان راهکاری تلقی می‌شود که می‌تواند براساس رژیم‌های فعلی تأمین انرژی، یک مسیر نرم را برای گذار کشورها به اقتصاد کم‌کربن مهیا کند. به عبارت دیگر، فناوری جذک به‌عنوان یک نوآوری تدریجی، زمان را برای تغییرات انقلابی در رژیم‌های انرژی جهان می‌خرد و مصالحه‌ای را بین عطش مصرف سوخت‌های فسیلی و نگرانی‌های تغییرات اقلیمی ایجاد می‌کند. [۲] البته باید یادآوری کرد که فناوری جذک خطرپذیری‌هایی دارد که در صورت بی‌توجهی به آن‌ها می‌تواند در راستای کاهش تغییرات اقلیمی حتی نقش منفی داشته باشد که در بخش بعدی مقاله توضیح داده خواهد شد.

اما پیشران مهم دیگر در فرایند رشد و توسعهٔ فناوری جذک امکان ارتقای امنیت انرژی کشورها به کمک این فناوری است. سوخت‌های فسیلی و به‌خصوص ذغال‌سنگ ستون اصلی تأمین برق بسیاری از جوامع صنعتی (همچون آمریکا، انگلستان و آلمان) هستند. این کشورها می‌توانند با استفاده از فناوری جذک همچنان به بهره‌برداری از این منابع ادامه داده و انرژی مورد نیاز خود را تأمین کنند. سیاستگذاران آلمانی با حمایت از توسعهٔ فناوری جذک، علاوه بر ارتقای امنیت انرژی، هدف دیگری را نیز دنبال می‌کنند. آلمان امیدوار است با ایفای نقش رهبری در حوزهٔ فناوری جذک، یک مزیت رقابتی در سطح جهانی را در دهه‌های آینده برای خود فراهم آورد. [۲]

۴. خطرپذیری‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی فناوری جذک

چالش‌های موجود در تجاری‌سازی فناوری جذک را می‌توان به ۴دستهٔ کلی تقسیم کرد:

۴-۱. چالش‌های فنی

مهم‌ترین پیامد منفی استفاده از فناوری جذک در نیروگاه‌ها، کاهش راندمان (۸ تا ۱۲درصد در نیروگاه‌های رایج پایهٔ ذغال‌سنگ و ۶ تا ۸درصد در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی گاز تلفیق‌شده) است. [۱۰] این موضوع به دلیل نیاز به انرژی و تجهیزات اضافی در نیروگاه‌ها برای جذب و متراکم کردن گازکربنیک است.

نشتی گازکربنیک در مرحلهٔ انتقال و همچنین در مرحلهٔ ذخیره‌سازی از مهم‌ترین دغدغه‌های تجاری‌سازی فناوری جذک است. خطراتی مانند زلزله در مناطق ذخیره‌شده، نشتی از سنگ‌ها و صخره‌های مکان‌های ذخیره‌سازی و سوانح ناشی از حمل و انتقال، مواردی هستند که روند توسعهٔ این فناوری‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. با توجه به این‌که این خطرپذیری‌ها هنوز به‌طور کامل شناخته نشده‌اند، نگرانی برخی محققان از این مقوله نسبتا بالاست. حتی برخی تحقیقات نشان می‌دهد که گازکربنیک ذخیره‌شده ممکن است باعث انحلال و خوردگی مواد معدنی موجود در زمین شده و در نتیجه باعث نشتی شود. [۱۱]

۴-۲. چالش‌های اقتصادی

اجرای پروژه‌های جذک در نیروگاه‌ها مستلزم نصب و راه‌اندازی تجهیزاتی پرهزینه است، برای همین هزینهٔ برق تولیدشده در این نوع نیروگاه‌ها نیز بالاتر است. از طرفی، خود فناوری‌های جذک در مرحله‌ای هستند که هنوز تا تجاری‌سازی فاصلهٔ زیادی داشته و اجرای آن‌ها امروزه غیراقتصادی است. تحقیقات نشان می‌دهد پروژه‌های جذک از لحاظ اقتصادی در نیروگاه‌هایی مقرون‌به‌صرفه هستند که نیاز به نوسازی اساسی دارند. [۲]

شاید یکی از دلایلی که کشور انگلستان توسعهٔ فناوری‌های جذک را در اولویت برنامهٔ خود گذاشته است این است که عمدهٔ نیروگاه‌های پایهٔ ذغال‌سنگ این کشور در سال ۲۰۲۰ در مرحلهٔ پایانی عمر خود بوده و نوسازی اساسی آن‌ها می‌تواند با نصب و راه‌اندازی تجهیزات فناوری جذک همراه باشد. همچنین پروژه‌های جذک بیشتر در نیروگاه‌های بزرگ، دارای ساختار متمرکز[۶] و نزدیک به محل ذخیره‌سازی، مقرون‌به‌صرفه هستند. [۲]

البته باید گفت، در مقایسه با نیروگاه‌های پایهٔ ذغال‌سنگ، جذب کربن در نیروگاه‌های گازی آسان‌تر و ارزان‌تر است، چراکه در نیروگاه‌های پایهٔ ذغال‌سنگ، سوخت جامد قبل از احتراق باید ابتدا به گاز تبدیل و سپس گازکربنیک آن جداسازی و متراکم شود.

۴-۳. چالش‌های اجتماعی سلامت

با توجه به خطرپذیری‌های فنی موجود، اجرا و پیاده‌سازی فناوری‌های جذک نیازمند توسعهٔ استانداردهای لازم برای خطوط انتقال گازکربنیک و طراحی دقیق مسیر عبور خطوط انتقال از نزدیکی نواحی مسکونی است. همچنین از لحاظ سلامتی باید به این مسألهٔ بسیار مهم توجه داشت که وزش باد ممکن است باعث انتشار گازکربنیک محبوس در مخازن شده و خطرهای جدی برای سلامت به‌وجود آورد.

علاوه بر موارد فوق، اجرای فناوری‌های جذک در جامعه، نیازمند پذیرش و آگاهی از ابعاد آن‌ها و قبول خطرپذیری‌های موجود توسط نهادهای مختلف اجتماعی است. مطالعات نشان می‌دهد که امروزه درصد بسیار کمی از مردم (حتی در کشورهای توسعه‌یافته) از فناوری‌های جذک به‌طور عام و خطرپذیری‌های خطوط انتقال و ذخیره‌سازی به‌طور خاص آگاهی دارند. [۱۲] در صورت وجود آگاهی بین اقشار اجتماعی نیز، رویکرد بی‌میلی نسبت به اجرای آن وجود دارد تا رویکرد اشتیاقی. [۳] بدون اقبال اجتماعی، فرایندهای انتقال و ذخیره‌سازی با مخالفت و اعتراض نهادهای غیردولتی فعال در جامعه همراه خواهد بود. از این‌رو کشورهایی که توسعهٔ فناوری‌های جذک را دنبال می‌کنند، درصدد هستند به موازات توسعهٔ فناوری‌ها، بسترهای قانونی لازم را با مشارکت نهادهای مختلف جامعه (به‌خصوص نهادهای غیردولتی) فراهم کنند. [۲]

۴-۴. چالش‌های زیست‌محیطی

بسیاری از نگرانی‌های زیست‌محیطی مربوط به اجرای پروژه‌های جذک، به مقولهٔ نشت گازکربنیک از خطوط انتقال و همچنین از مخازن ذخیره‌شده بازمی‌گردد. نشتی این گاز به اتمسفر باعث تغییرات اقلیمی می‌شود، نشتی به آب اقیانوس‌ها باعث اسیدی شدن و خطراتی برای گونه‌های زیستی می‌شود و نشتی به خاک نیز باعث آسیب به اکوسیستم خاک می‌شود. با توجه به نگرانی‌های تغییرات اقلیمی در سطح جهانی، نگرانی‌های محیط زیستی مهم‌ترین چالش تجاری‌سازی فناوری‌های جذک است.

۵. نوآوری تدریجی یا رادیکال؟

فوریت چالش تغییرات اقلیمی و اهمیت روزافزون آن در عرصه‌های بین‌المللی، ضرورت ایجاد تغییرات رادیکال در رژیم‌های کنونی انرژی را در جهان به‌خوبی نشان می‌دهد. بازارهای کنونی انرژی به فناوری‌هایی نیاز دارند که به‌طور انقلابی تغییراتی را در وضعیت ناگوار انتشار گازهای آلاینده و تغییرات اقلیمی ایجاد کنند. محققان پاسخ کافی به این مقوله را مستلزم ایجاد تغییرات اساسی در فرایند سیاستگذاری و همچنین خود سیاست‌ها می‌دانند. در رابطه با فرایند سیاستگذاری، دولت‌ها لازم است که توافق عمومی را برای تغییرات رادیکال در سیاست‌ها و همچنین درگیر کردن دست‌اندرکاران برای کاهش آلاینده‌ها به‌کار گیرند. در رابطه با خود سیاست‌ها هم دولت‌ها باید سیاست‌های معتبری را برای توسعهٔ نوآوری‌ها و سرمایه‌گذاری‌ها در فناوری‌های با کربن پایین‌تر و همچنین تغییرات رفتاری وضع کنند. در این ارتباط پرسش مهم این است که جذک تا چه میزان می‌تواند در گذار اقتصاد کشورها به اقتصاد کربن‌صفر و یا حداقل کم‌کربن مشارکت کند؟ آیا نقش جذک در پاسخ به تغییرات اقلیمی یک نقش انقلابی در رژیم‌های کنونی انرژی است و یا این‌که این فناوری با تحقق توسعهٔ کم‌کربن، بستری را برای گذار نرم و تدریجی کشورها به رژیم‌های انرژی سازگار با محیط زیست فراهم می‌آورد؟

براساس مفاهیم نوآوری، تمایز بین نوآوری‌های رادیکال و تدریجی بر مبنای سنجش آن‌ها با فناوری موجود است. [۱۳] با این رویکرد، بهبود تدریجی و پیوسته در فناوری‌های موجود با مقولهٔ نوآوری تدریجی (در مقابل نوآوری‌های رادیکال) شناخته می‌شود. [۱۴] اهمیت نوآوری‌های تدریجی در تغییرات اجتماعی اقتصادی در بلندمدت بسیار حایز اهمیت است و حتی مطالعات نوآوری همواره بر این نکته تأکید دارند که تحقق منافع اقتصادی حاصل از نوآوری‌های رادیکال نیازمند تحقق مجموعه‌ای از تغییرات تدریجی در رژیم‌های موجود فناوری است. [۱۵]

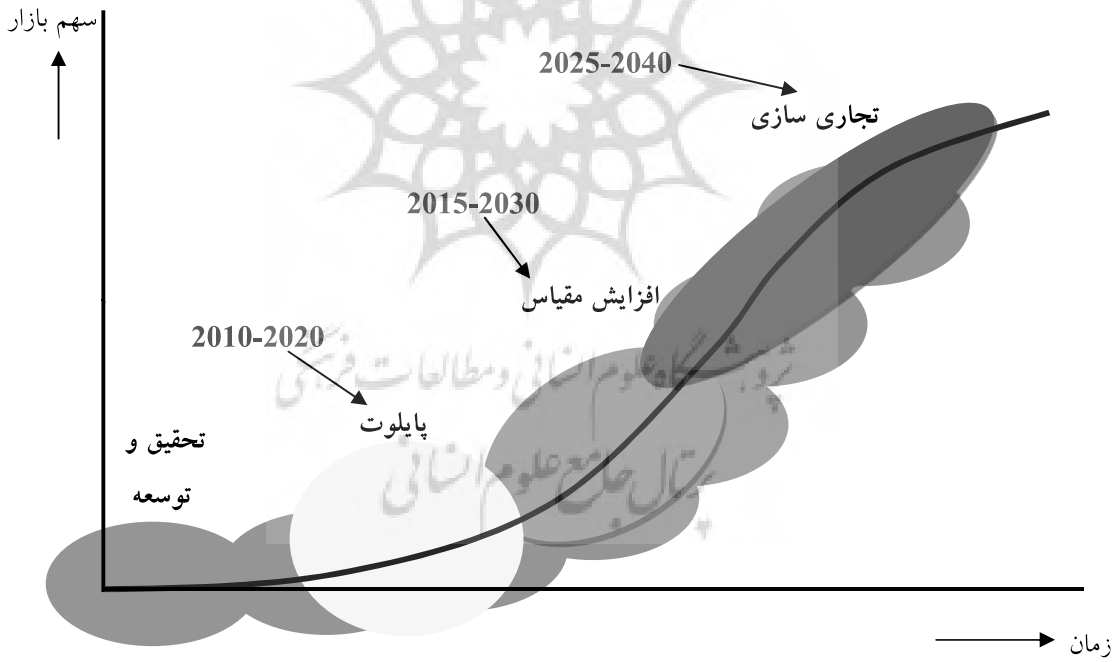
تعمق در وضعیت فعلی فناوری جذک دو نکتهٔ اساسی را پررنگ می‌سازد: اول این‌که این فناوری، به‌عنوان نوآوری تدریجی، پلی ارتباطی بین وضعیت کنونی رژیم‌های انرژی و رژیم‌های پایدار آرمانی آینده است. از آنجایی‌که این فناوری با سوخت‌های فسیلی ارتباط تنگاتنگی دارد، بهتر از راهبردهای دیگر با ساختار شبکهٔ برق کنونی در کشورها

مطابقت دارد. [۲] در نتیجه این فناوری با مصالحه با سوخت‌های فسیلی، بستری را فراهم می‌آورد که با یک گذار نرم بتوان به توسعهٔ پایدار انرژی در آینده دست یافت.

اما نکتهٔ مهم دیگر این است که هنوز بسیاری از مجموعه فناوری‌های جذک در مرحلهٔ تحقیق و توسعه قرار داشته و تجاری نشده‌اند. فقدان دانش لازم برای توسعهٔ فناوری‌های جذک به‌خصوص در بخش جذب کربن، که پیچیده‌ترین مرحله است و همچنین ذخیره‌سازی (به غیر از چاه‌های نفت و گاز)، از دیگر چالش‌های تجاری‌سازی این فناوری‌ها است و هنوز فناوری‌های مربوطه به مرحلهٔ بلوغ نرسیده‌اند. هرچند برخی از فناوری‌ها از فرایند بازیافت چاه‌های نفت، می‌تواند در فناوری جذک استفاده شود و باوجود پیشرفت‌های اخیر که در توسعهٔ فناوری‌های پسا احتراق، پیش احتراق و احتراق اکسیژنی حاصل شده است، اما این فناوری‌ها هنوز در مراحل پایلوت[۷] بوده و تا تجاری‌سازی فاصلهٔ زیادی دارند. برای تجاری‌سازی آن‌ها نیز فعالیت‌های تحقیق و توسعهٔ گسترده‌ای لازم است. هنوز مسائل فنی زیادی بدون حل باقی مانده‌اند که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: فقدان تجربهٔ راه‌اندازی و استفاده از این فناوری‌ها، قابلیت اطمینان سیستم‌ها، عدم وجود روش‌های کاهش مصرف انرژی برای جذب گازکربنیک، نبود مواد بهینه در فرایندهای جذب سیکل‌های تولید برق پیشرفته، کنترل فرایندها و اقتصادی بودن فناوری‌ها و روش‌های موجود. [۳]

مطالعات نشان می‌دهد فناوری‌های جذک هم‌اکنون در مرحلهٔ پایلوت بوده و تجاری شدن کامل آن‌ها پس از سال ۲۰۲۰ خواهد بود. البته باید اضافه کرد که زمان دقیق تجاری شدن جذک به روند رشد و توسعهٔ فناوری‌ها و میزان سرمایه‌گذاری شرکت‌های تجاری در بخش تحقیق و توسعهٔ این فناوری، بستگی دارد.

شکل ۱، روند توسعهٔ فناوری جذک و پیش‌بینی تجاری آن‌ها را به‌طور شماتیک نشان می‌دهد.



شکل ۱. پیش‌بینی روند توسعهٔ فناوری جذک [۱۶]

۶. سیاست‌های مبتنی بر بازار یا سیاست‌های فناوری - محور؟

اما پرسش مهم دیگری که در عرصهٔ سیاستگذاری مطرح می‌شود، این است که آیا سیاستگذاران انرژی باید توسعهٔ فناوری‌ها در معنای عام و فناوری‌های جذک به‌طور خاص را طبق سازوکارهای بازار انجام دهند و یا این‌که با رویکرد فناوری محور، زمینه را برای ایجاد بسترها و زیرساخت‌های لازم برای توسعهٔ فناوری‌های راهبردی فراهم آورند؟

نگاه مبتنی بر بازار آزاد استدلال می‌کند که دولت‌ها باید از حمایت هدفمند از یکسری فناوری‌ها پرهیز کرده

و در عوض با ایجاد سازوکارهای مبتنی بر بازار (مانند ایجاد بازارهای کربن)، راه رشد و ورود فناوری‌ها را هموار کنند. استدلال این نوع نگاه بر مبنای تقویت طرف تقاضا بوده و طرف عرضه تنها دنباله‌رو سیاست‌های بازار است. در حقیقت مبانی اقتصاد بازار آزاد مباحثی از نوع آلودگی محیط زیست را امری برون‌زا در مباحث خود می‌پندارد و اگر مشکلاتی در محیط زیست پدید آید، برای رفع آن‌ها ساختارهای قیمتی را قرار می‌دهد. در این نوع تفکر درواقع محیط زیست قیمت‌گذاری می‌شود. اگر تجارت شرکتی اقتضا می‌کند که محیط زیست آلوده شود، این خسارت می‌تواند با پرداخت مبالغی جبران شود. بدین‌ترتیب، مسیر سرمایه‌گذاری برای توسعهٔ فناوری‌های سازگار با محیط زیست در عمل با مشکل مواجه می‌شود. سؤال اینجاست که آیا می‌توان با توجه به روند به‌شدت صعودی مصرف انرژی در جهان و با ظهور اقتصادهای بزرگ جدیدی همچون چین و هند، تنها با نگاه مبتنی بر بازار آزاد به مشکلات زیست‌محیطی فائق آمد؟

اما نگاه فناوری محور اصل را بر فعال کردن طرف عرضهٔ فناوری‌ها گذارده و سیاست‌هایش را در راستای ظهور نوآوری‌های فناورانه (تدریجی یا رادیکال) تنظیم می‌کند. هدف سیاستگذاری فناوری در حوزهٔ انرژی ارتقای راهبردهای مؤثر برای توسعه و استفاده از فناوری‌های پربازده برای گذار به اقتصاد کم‌کربن است.

سیاستگذاری فناوری برای ترغیب ظهور فناوری‌های جدید، ویژگی‌های مهمی را شامل می‌شود:

ویژگی اول) سیاستگذاری باید بر مبنای نوعی آینده‌نگری انجام شده باشد و در آن یکسری فناوری‌های اولویت‌دار تعیین و حمایت شوند؛ چراکه منابعی که دولت‌ها می‌توانند به نوآوری‌های حوزهٔ انرژی اختصاص دهند محدود است و اگر اولویت‌بندی نشوند این خطرپذیری وجود دارد که منابع به‌طور نامنظم، بی‌هدف و ناکارامد هزینه شوند. البته این اولویت‌بندی باید از یک معیار خاص تبعیت کند که موارد متعددی همچون تنوع در پورتفولیوی فناوری‌ها، مراحل توسعهٔ هر فناوری، خطرپذیری‌ها و هزینه‌های فناوری‌های مختلف و نقش سیاستگذاری صنعتی در آن لحاظ شده باشد. [۱۷]

ویژگی دوم) پاسخ مناسب به فوریت تغییرات اقلیمی نمی‌تواند فقط مبتنی بر نگاه بازار باشد و این نوع نگاه روند رشد فناوری‌ها و ظهور نوآوری‌ها را کند می‌کند. بالا بودن قیمت کربن به تنهایی نمی‌تواند رشد و توسعهٔ فناوری‌ها را، به‌ویژه آن‌هایی که در مرحلهٔ پایلوت هستند و تا مرحلهٔ تجاری‌سازی فاصله دارند، ضمانت کند. سیاست‌های متداولی مانند قیمت‌گذاری کربن، در اصل در مورد فناوری‌های نزدیک به بازار کارایی دارد.

ویژگی سوم) این ویژگی که از اهمیت بیشتری نیز برخوردار است در رابطه با نقش دولت‌ها در خود سیاست‌ها و فرایند سیاستگذاری است. در این رابطه دو استدلال مهم مطرح است:

۱. مطالعهٔ کشورهای به‌تازگی توسعه‌یافته نشان می‌دهد که بدون دخالت دولت‌ها و وضع سیاست‌های کارامد صنعتی، نمی‌توان به رشد و پیشرفت صنعتی رسید و تجربه‌های کشورهای جنوب‌شرق آسیا مؤید این گزاره است. [۱۸]، [۱۹]، [۲۰]

۲. دنیای امروز و معادله‌های آن با آنچه در فاصلهٔ سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰ بود، تفاوت ماهوی دارد. در آن دوران، تفکر بازار آزاد درمان تمام دردهای اقتصادی کشورها پنداشته می‌شد و اقتصاددانان بازار آزاد، انرژی را تنها یک کالای قابل خرید و فروش همانند سایر کالاهای تجاری تصور می‌کردند. اما امروزه کشورها با پیامدهای منفی این نوع نگرش در عمل آشنا هستند. امروزه نقش محوری دولت‌ها چه در رسیدن به فناوری‌های خاص و چه نقش سیاسی آن‌ها در معادله‌های جهانی (از جمله چالش‌های جهانی زیست‌محیطی) انکارناپذیر است. در دنیای کنونی سیاستگذاری انرژی با مسائل پیچیدهٔ سیاسی، زیست‌محیطی، اجتماعی و امنیتی عجین و آمیخته شده است.

براساس مباحث فوق، این مقاله راهکارهای سیاست‌گذارانهٔ زیر را برای توسعهٔ فناوری‌های جذک در کشور پیشنهاد می‌کند:

الف) نوع نگرش برای توسعهٔ فناوری‌های جذک بایستی فناوری محور باشد. بر این اساس هرگونه سیاستگذاری باید بر مبنای مطالعات آینده‌نگری در حوزهٔ فناوری و انرژی انجام گرفته و در صورت تطابق راهبردهای کلان کشور با توسعهٔ فناوری‌های جذک، سیاستگذاری‌های لازم برای رشد و توسعهٔ این فناوری‌ها در کشور انجام گیرد. آینده‌نگری مذکور شامل دو قسمت است: این‌که آیا فناوری‌های جذک در کشور در اولویت باشند یا خیر؟ و در صورت اولویت

داشتن، کدام دسته از فناوری‌های جذک و با چه ترتیب تقدم و تأخری باید مدنظر باشند؟

ب) با توجه به وضعیت کنونی فناوری‌های جذک در جهان، رسیدن به این فناوری‌ها و موفقیت در تجاری‌سازی آن‌ها مستلزم دخالت دولت است. سیاست‌های حمایتی دولت (به همراه ساختارهای ارزیابی) برای رسیدن به این هدف، اصل ضروری است.

ج) استدلال این مقاله بر تعطیلی ساختارهای بازار نیست، اما نکتهٔ کلیدی آن بر سیاستگذاری فناوری است، به‌طوری‌که نقش دولت‌ها، حمایت هدفمند و ساختارهای طرف عرضه نیز به همراه اجرای ساختارهای بازار پیگیری شود. در اصل، حمایت‌های تحقیق و توسعه اگر با تشویق مصرف‌کنندگان برای بهره‌برداری از نتایج نوآوری‌ها در زمینهٔ فناوری‌های جذک همراه نباشد (به‌عنوان مثال قیمت کربن پایین نگه داشته شود)، نمی‌توان به تجاری‌سازی نوآوری‌های جذک در آینده امیدوار بود.

د) این نوشتار تأکید دارد که حمایت دولت‌ها و تخصیص منابع باید با فرایند ارزیابی توأم باشد؛ به‌طوری‌که در آن روند رشد فناوری‌ها و موارد اقتصادی لحاظ شده باشد و نهادهای دولتی اختیارات لازم را برای توقف حمایت‌ها (در صورت لابی‌گری شرکت‌های تجاری و عدم کارایی آن‌ها) داشته باشند. مسألهٔ مهم دیگر در ارزیابی سیاست‌ها، عدم تهدید مشروعیت دولت و تلقی فرایند ارزیابی به‌عنوان یادگیری سیاستی است.

۷. سخن آخر

امروزه فناوری جذک مانند پلی است که علاوه بر کاهش قابل‌توجه گازکربنیک در اتمسفر و درنتیجه فراهم آوردن زمینهٔ لازم برای تحقق اقتصاد کم‌کربن، توانسته است مسیر گذار نرم به توسعهٔ پایدار مصرف انرژی و تحقق اقتصاد کربن صفر را هموار سازد. فناوری جذک مصالحه‌ای را با رژیم‌های کنونی مصرف انرژی از یک طرف و پاسخگویی فوری به تغییرات اقلیمی از طرف دیگر برقرار می‌کند. ویژگی ممتاز دیگر این‌که، جذک، بهتر از راهبردهای دیگر با شبکه‌های برق کنونی سازگار است.

البته با وجود مزایای فوق، هنوز توسعهٔ فناوری‌های جذک در مراحل پایلوت قرار داشته و تا تجاری‌سازی کامل فاصلهٔ زیادی دارند. خطرپذیری‌های فنی فناوری‌های جذک، همانند نشتی خطوط انتقال و نشتی میادین ذخیره‌سازی، تجاری‌سازی کامل این فناوری‌ها را با مشکل مواجه می‌کند. به‌خصوص این‌که بسیاری از چالش‌های فنی و اقتصادی و نگرانی‌های ناشی از پیامدهای زیست‌محیطی هنوز حل‌نشده باقی مانده است. اما در مجموع فناوری جذک امیدهای تازه‌ای را در میان سیاست‌گذاران انرژی ایجاد کرده است و سیاست‌های صنعتی کشورها (به‌ویژه کشورهای صنعتی) توسعهٔ فناوری جذک را در اولویت خود قرار داده‌اند. این فناوری، با ویژگی نوآوری تدریجی، بدون نیاز به تغییرات اساسی در ساختار فعلی تأمین انرژی جهان، فرصت مناسبی را برای ظهور نوآوری‌های انقلابی و گذار به رژیم‌های پایدار مصرف انرژی فراهم می‌آورد. این فناوری همچنین چشم‌انداز روشنی را برای اتفاق‌نظر کشورهای جهان در زمینهٔ چاره‌اندیشی اساسی برای تغییرات اقلیمی ایجاد کرده است؛ به‌طوری‌که در نشست‌های پس از همایش کپنهاگ کشورها بهتر می‌توانند به هم‌اندیشی در زمینهٔ سیاست‌ها و ساختارهای جهانی مقابله با تغییرات اقلیمی اقدام کنند و حتی کشورهایی نظیر آمریکا نیز با احساس مسؤولیت بیشتر، سعی دارد در تلاش‌های جهانی مشارکت داشته باشد.

البته باید توجه داشت که سیاست توسعهٔ فناوری‌های جذک به همراه سیاست‌های دیگری نظیر انرژی‌های تجدیدپذیر و کارایی انرژی، مکمل هم هستند و هر یک از این سیاست‌ها به تنهایی نمی‌تواند منجر به گذار نرم به اقتصاد کم‌کربن شود. اجرای سیاست توسعهٔ فناوری‌های جذک نیازمند ایجاد بسترهای قانونی لازم برای توسعهٔ فناوری‌ها بوده و به موازات آن بایستی استانداردهای فنی و زیست‌محیطی مورد نیاز نیز توسعه یابند. اما از آنجایی‌که هنوز زمان دستیابی به فناوری‌ها و تجاری‌سازی آن‌ها به‌طور دقیق مشخص نیست، دخالت دولت‌ها در فرایند توسعهٔ فناوری‌ها و مقابله با چالش‌های اجتماعی و زیست‌محیطی ضرورت دارد و بدون این دخالت و حمایت، رشد بومی و تجاری‌سازی این فناوری‌ها غیرممکن است. این مقاله استدلال می‌کند که سیاست‌های بازارمحور مانند قیمت‌گذاری کربن مربوط به فناوری‌های نزدیک به بازار بوده و نمی‌تواند به تنهایی برای رشد مجموعه فناوری‌های جذک مؤثر

باشـد. سیاسـت‌های مذکور باید با سیاسـت‌های حمایتی دولت‌ها همراه شود. این تحقیق نشـان می‌دهد که ورود دولت‌ها به مقولهٔ سیاستگذاری فناوری‌های جذک باید براساس آینده‌نگری بوده و بر طبق یک سلسله معیارها انجام شـود. از طرفی، حمایت دولت نیز باید بر یک نگرش سیاسـتگذارانه و هدفمند متکی باشـد بوده و اتکای صرف به تخصیص منابع مالی چندان سـودمند نیسـت. سـاختارهای ارزیابی و یادگیری سیاستی در مؤثر بودن سیاست‌های طرف عرضهٔ فناوری‌ها نقش مهمی دارند.

منابع

1. Curry, T.E., 2004, *Public Awareness of Carbon Capture and Storage: A Survey of Attitudes toward Climate Change Mitigation*, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, MA.
2. Praetorius, B.; Schumacher, K., 2009, "Greenhouse gas mitigation in a carbon constrained world: The role of carbon capture and storage", *Energy Policy* 37, pp. 5081-5093.
3. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2005, *Carbon dioxide capture and storage,* Geneva, Switzerland.
4. International Energy Agency (IEA), 2009, *World Energy Outlook.*
5. The Organisation of Petroleum Exporting Countries (OPEC), 2009, *World Oil Outlook*.
6. BP Energy Outlook 2030, 2011, London. available at http://www.bp.com.
7. International Energy Agency (IEA), 2011, *World Energy Outlook, Are We Entering a Golden Age of Gas?* Special Report.
8. International Energy Agency (IEA), 2007, *World Energy Outlook: China and India Insights*.
9. Scrase, I. and MacKerron, G., 2009, Eds. *Energy for The Future*, Palgrave-Macmillan.
10. Schumacher, K., and Sands, R.D., 2006, "Innovative energy technologies and climate policy in Germany", *Energy Policy,* 34, pp. 3929–3941.
11. Kharaka,Y., Cole, D.R., Hovorka, S.D., Gunter, W.D., Knauss, K.G., Freifeld, B.M., 2006, "Gas -water-rock interactions in Frio Formation following CO2 injection: Implications for the storage of greenhouse gases in sedimentary basins", *Geology,* 34, pp. 577–580.
12. Daniels, A. and Heiskanen, E., 2006, "Schwarze Pumpe CO2 capture and storage project", Work Package 2-Historical and recent attitude of shareholders. Create Acceptance. In: Praetorius, B. and Schumacher, K., 2009, "Greenhouse gas mitigation in a carbon constrained world: The role of carbon capture and storage". *Energy Policy, 37*, pp. 5081-5093.
13. Freeman, C. and Soete, L., 1997, *The Economics of Industrial Innovation*, 3rd edn. London: Pinter.
14. Fagerberg, J., 2005, Innovation: A Guide to the Literature. in Fagerberg, J., Mowery, D. & Nelson, R., *Oxford Handbook of Innovation*, Chapter 1, Oxford University Press.
15. Lundvall, B. A °, 1992, *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, London: Pinter.
16. de Coninck, H., Groenenberg, H., 2007, *Incentivising CCS in the EU*. Presentation, Stakeholder meeting DG ENV, 8 May 2007. Energy Research Centre of the Netherlands (ECN).
17. Watson, J., 2008, *Setting priorities in energy innovation policy: lessons for the UK*; Belfer Centre for Science and International Affairs, Kennedy School of Government, Harvard University.
18. Abramovitz, M., 1986, Catching-up, forging ahead, and falling behind, *The Journal of Economic History*, 46(2), pp. 385-406.
19. Fagerberg, J. & Godinho, M., 2005, Innovation and Catching-up, in Fagerberg, J., Mowery, D. & Nelson, R. *Oxford Handbook of Innovation*, Chapter 19, Oxford University Press.
20. Malerba, F. & Nelson, R., 2007, "Catching up in different sectoral systems", *Globelics,* Russia, 20-23 September 2007, Saratov.

پانوشت‌ها

1. Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC).
2. LPG.
3. Geological Storage.
4. Ocean Storage.
5. Mineral Storage.
6. Centralized.
7. Demonstration.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی