



شماره ۵

خبرنامه گداخت هسته‌ای



شرکت فناوری‌های پیشرفته ایران

معاونت گداخت هسته‌ای

دفتر توسعه ارتباطات و همکاری‌های فناوری گداخت هسته‌ای



سر فصل خبرها

اعمال قوانین سختگیرانه بر تولید
کربن و آلودگی محیط زیست

تمامی کشورها باید از قوانین
جدید تبعیت کنند

شکافت هسته‌ای، گداخت هسته‌ای
یا انرژی‌های تجدید پذیر؟

با وضع قوانین جدید بین الملل، نفت و گاز از رده خارج خواهد شد

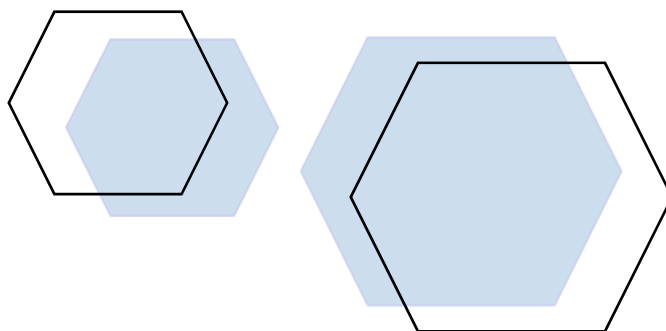
هیچ کشوری مستثنا نیست

با توجه به ظرفیت گرمایی اقیانوس‌های جهانی، برای افزایش متوسط دمای سالانه سطح زمین، حتی به مقدار کمی، انرژی گرمایی زیادی لازم است. افزایش ۱ درجه سانتیگراد در دمای متوسط سطح جهانی ممکن است اندک به نظر برسد، اما به معنای افزایش قابل توجه گرمای زمین است.



با توجه به آسیب‌های زیست‌محیطی وارد شده بر کره زمین و افزایش دمای سالانه، ایالت متحده و اتحادیه اروپا با همکاری برخی از کشورهای آسیایی از جمله ژاپن، برآورد دقیقی از مقایسه هزینه‌های نسبی برق تولید شده توسط سوخت‌های مختلف انجام داده‌اند (عدم قطعیت‌ها برای هر نوع سوخت متفاوت است).

در این برآورد، هزینه‌هایی شامل هزینه‌های انتشار کربن و هزینه‌های ناشی از تخریب محیط‌زیست بر تولیدات انرژی (از هر منبعی) در نظر گرفته خواهد شد. به این گونه که دولت‌ها با وضع قوانین جدید برای جلوگیری از انتشار دی‌اکسید کربن جهانی، مالیات‌های سنگینی را بر روی تولیدات کربن ناشی از منابع انرژی اعمال خواهند کرد. بر این اساس این قوانین در بسیاری از کشورهای صنعتی در حال برنامه‌ریزی و اعمال است، هزینه واقعی تولید برق از نفت و گاز می‌تواند شش برابر بیشتر از مقدار فعلی باشد.



همچنین، هر منبع جدید انرژی، مانند انرژی‌های تجدید پذیر و گداخت، نه تنها باید نشان دهند که پاک، ایمن و سازگار با محیط زیست هستند؛ بلکه باید از نظر هزینه نیز با دیگر اشکال انرژی قابل رقابت باشند. مدل‌های استاندارد پیش‌بینی انرژی با توجه به قوانین جدید نشان می‌دهند که هزینه برق تولید شده توسط گداخت، زمانی که در اواسط قرن بیست و یکم در دسترس قرار گیرد، نسبت به سایر منابع تولید انرژی رقابتی خواهد بود.

مصرف انرژی و جمعیت جهان

مصرف انرژی طی صد سال گذشته بیش از ده برابر شده است. افزایش مصرف انرژی در کشورهای صنعتی و رشد جمعیت در کشورهای در حال توسعه رخ داده است (مصرف انرژی در کشورهای توسعه یافته به ازای هر نفر ۶ برابر بیشتر از یک فرد در یک کشور در حال توسعه است). پیش‌بینی می‌شود که تقاضای انرژی در سال ۲۱۰۰ حدود چهار برابر سطح فعلی باشد. لذا باید منبعی برای تامین این نیاز روز افزون به انرژی وجود داشته باشد. گداخت و انرژی‌های تجدید پذیر کاندیدهای خوبی برای تامین این انرژی هستند. البته باید در نظر داشت که پذیرش گسترده انرژی‌های تجدیدپذیر غیرهسته‌ای، و کاهش مداوم قیمت آن رقابت‌پذیری انرژی گداخت را به چالش می‌کشد. اما انرژی‌های تجدیدپذیر نمی‌توانند همه الزامات انرژی را برآورده کنند و ما به هر حال به منابع انرژی متمرکزی مانند گداخت نیاز خواهیم داشت.

همچنین پس از تحقیقات صورت گرفته در اتحادیه اروپا به منظور کاهش هزینه‌های ساخت یک نیروگاه گداخت، راکتورهای گداخت به سمت فشرده تر و کم هزینه تر شدن پیش می‌روند.

در ایران نیز به منظور تامین انرژی آتی مورد تقاضا، کسب دانش فنی گداخت و بومی‌سازی آن، چندین شورا و هم‌اندیشی علمی و فنی به منظور کسب آرای متخصصین و نخبگان دانشگاهی در سال‌های اخیر برگزار شده است. در این راستا نقشه راه کشورهای پیشرو در دستیابی به گداخت و هدف‌گذاری آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت؛ که در نتیجه‌ی آن با در نظر گرفتن سطح تکنولوژیکی و اقتصادی موجود در ایران، طراحی و ساخت یک توکامک کروی فشرده در سازمان انرژی اتمی ایران آغاز شده است.

هزینه‌های تولید برق با توجه به محیط زیست

استانداردهای آلودگی، هزینه‌های سوزاندن سوخت‌های فسیلی را بالا می‌برند، در حال حاضر مصرف‌کنندگان برق تولید شده از سوخت‌های فسیلی هزینه آسیب‌های ناشی از آن به محیط زیست یا سلامت عمومی را پرداخت نمی‌کنند. برآورد دقیق این هزینه‌های غیر مستقیم دشوار است زیرا خسارات گسترده و در نتیجه اندازه‌گیری آن دشوار است. همچنین تمامی کشورها را آلوده خواهد کرد و تاثیر آن جهانی خواهد بود.

طبق این قوانین، با در نظر گرفتن هزینه‌های زیست‌محیطی، هزینه واقعی تولید برق از نفت می‌تواند شش برابر بیشتر باشد، به علاوه، کشورهایی که تامین انرژی خود را بر پایه‌ی سوخت فسیلی انجام می‌دهند باید استفاده از آن را محدود و یا متوقف کنند.

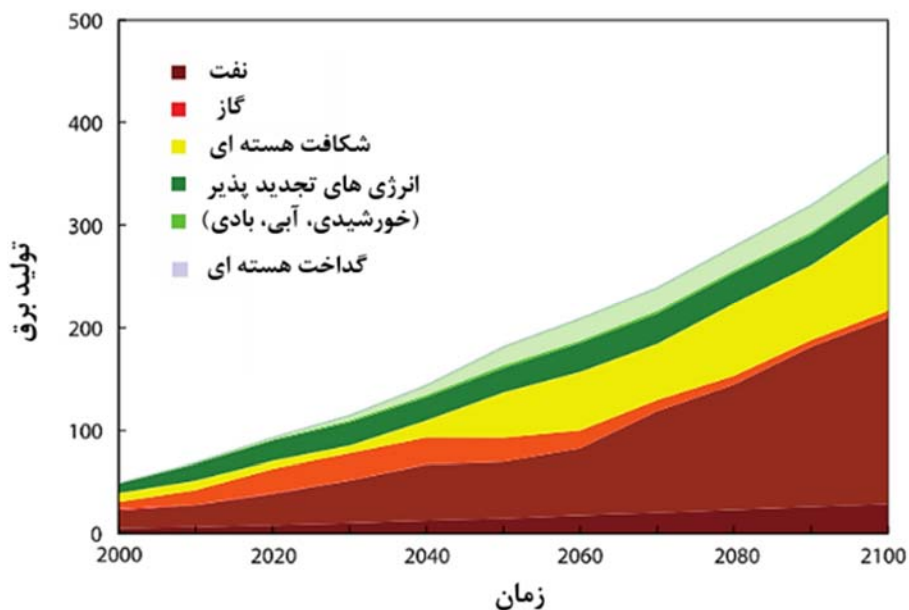
پیش‌بینی هزینه‌های آینده منابع تجدیدپذیر مانند انرژی باد، خورشید و جزر و مد نیز به همان اندازه دشوار است. در حال حاضر، برق تولید شده با این روش‌ها عموماً گران‌تر از برق تولید شده توسط سوخت‌های فسیلی است و در مکان‌هایی خاص و محدود کارایی خواهد داشت. در یک نیروگاه گداخت، چند گرم سوخت به اندازه ده‌ها تن نفت یا گاز انرژی تولید می‌کند، اما گران محسوب می‌شود. لازم به ذکر است که بخش غالب هزینه برق تولید شده توسط گداخت ناشی از سرمایه‌گذاری اولیه در ساخت نیروگاه و هزینه‌های مرتبط با تعمیر و نگهداری قطعات در طول عمر کاری آن‌ها است. بسیاری از بخش‌های یک نیروگاه گداخت (ساختمان‌ها، توربین‌ها و ژنراتورها) مانند سایر نیروگاه‌ها خواهد بود و هزینه‌های این نیروگاه‌ها کاملاً مشخص است. همچنین، مطالعات اخیر طرح‌های بالقوه مبتنی بر توکامک را پیش‌بینی می‌کند که حدود ۱۰۰۰ مگاوات برق با هزینه‌ای قابل رقابت با سایر سوخت‌ها تولید خواهد کرد.

اعمال مالیات بر تولیدات کربن در سطح جهانی

تاکنون قوانین زیست محیطی بین‌الملل بر اساس مدل 'BAU' یعنی بدون اعمال هیچ محدودیتی در مورد انتشار CO₂ بوده است. بر اساس این مدل، نفت و گاز به شدت بازار تولید انرژی را در دست می‌گیرند. نکته جالب توجه، سهم بازار شکافت است که تنها در نیمه دوم قرن رشد کرده که نشان‌دهنده‌ی افزایش بازارهای

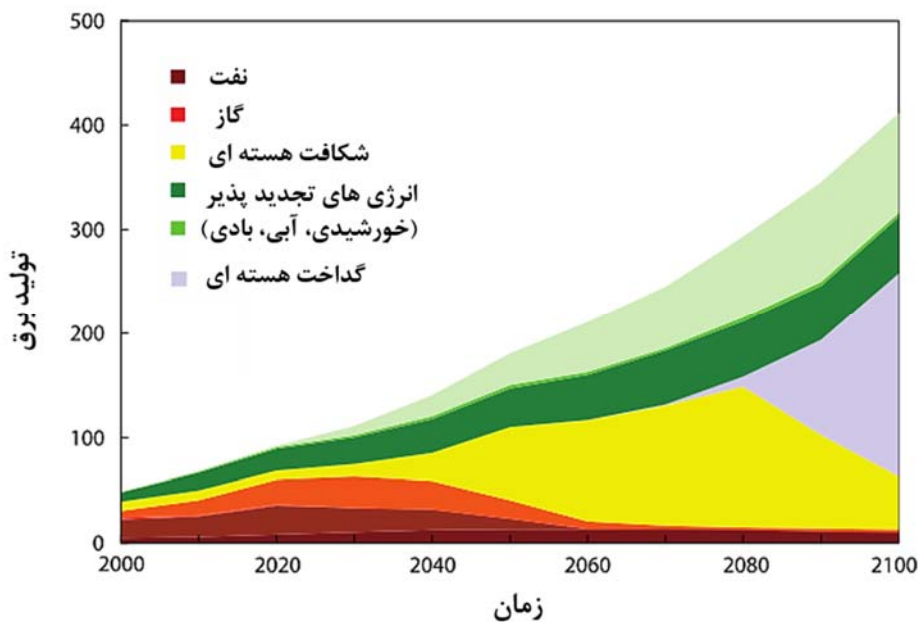
¹ Business As Usual

نوظهور و تقاضای انرژی است. انرژی‌های تجدیدپذیر نیز به دلیل هزینه‌هایشان نقش مهمی را در تامین انرژی مورد تقاضا ایفا خواهند کرد. در این حالت، انرژی گداخت حتی وارد بازار نشده است.



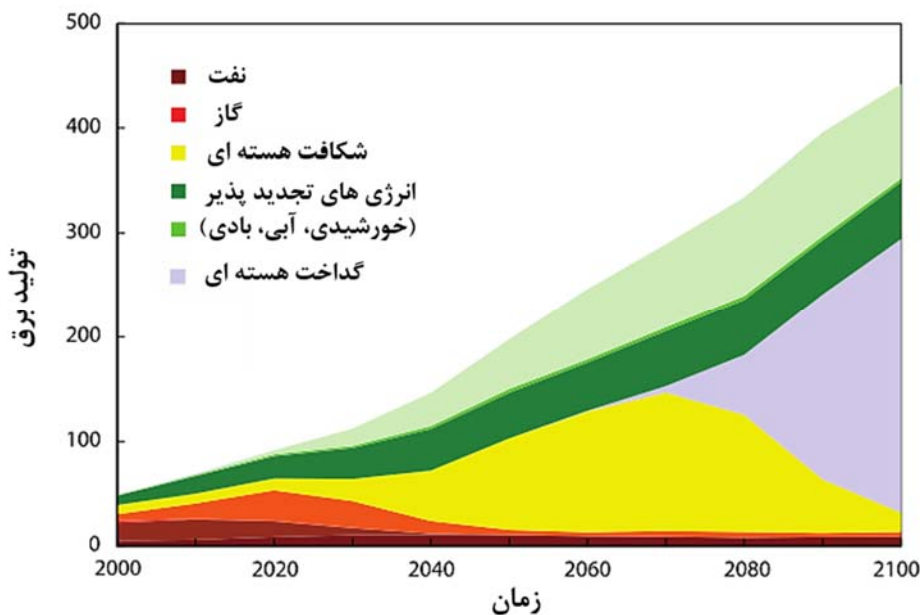
نمودار تولید برق براساس منابع مختلف انرژی بدون در نظر گرفتن انتشار کربن (طرح‌ریزی این مدل در سال ۲۰۱۱ آغاز شده و در سال ۲۰۲۰ به چاپ رسیده است)

حال اگر سیاست‌های مربوط به در نظر گرفتن دی‌اکسیدکربن اجرا گردد، کل تصویر تغییر می‌کند. با در نظر گرفتن انتشار کربن در دو سناریو زیر و در صورت وضع قوانین جدید، شکافت و انرژی‌های تجدیدپذیر، مانند انرژی آبی و انرژی باد همراه با انرژی گداخت بازار را در سال ۲۱۰۰ تحت سلطه خواهند داشت. در مدل $CO_2-650PPM$ ، انرژی حاصل از شکافت هسته‌ای در سال ۲۰۴۰ بازار را به دست خواهد گرفت ولی به زودی در سال ۲۰۸۰ جای خود را به انرژی گداخت هسته‌ای خواهد داد و از رده خارج خواهد شد. علت آن اورانیوم است، منبعی که می‌تواند واپاشی کند.



نمودار تولید برق براساس منابع مختلف انرژی، با در نظر گرفتن سیاست‌های مربوط به انتشار کربن در مدل انتشار ۶۵۰ قسمت در میلیون (طرح‌ریزی این مدل در سال ۲۰۱۱ آغاز شده و در سال ۲۰۲۰ به چاپ رسیده است)

زمانی که محدودیت‌های انتشار کربن توسط کشورهای جهان اول بیشتر شود، انرژی گداخت درصد بیشتری از بازار را به خود اختصاص می‌دهد. در واقع، با تشدید قوانین طبق مدل CO₂-550PPM و اعمال مالیات‌های سنگین‌تری بر روی منابع انرژی آلوده‌کننده محیط‌زیست، سوخت‌هایی مانند نفت و گاز بازار خود را از دست خواهند داد. انرژی‌های تجدید پذیر و گداخت هسته‌ای در صورت موفقیت بازار تامین برق را در دست خواهند گرفت. این قوانین که به صورت جدی توسط کشورهای پیشرو در حال طرح‌ریزی است ممکن است تحریم‌هایی را برای کشورهای که از آن پیروی نکنند به همراه داشته باشد. برای جلوگیری از این روند، کشورهای متکی بر سوخت‌های فسیلی، مانند عربستان، سرمایه‌گذاری‌های کلانی را در زمینه‌ی گداخت هسته‌ای (با همکاری سایر کشورها به لحاظ فنی) انجام داده‌اند.



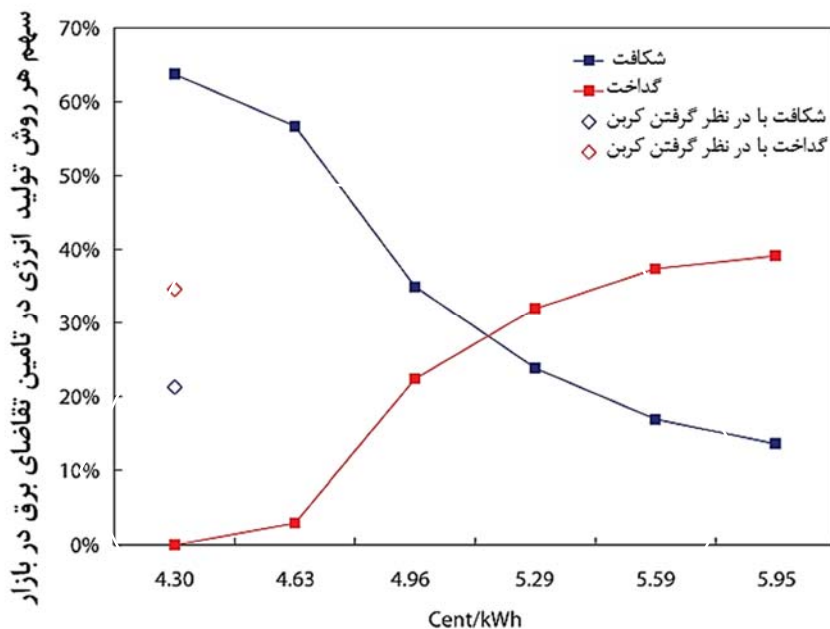
نمودار تولید برق براساس منابع مختلف انرژی، با در نظر گرفتن سیاست‌های مربوط به انتشار کربن در مدل انتشار ۵۵۰ قسمت در میلیون (طرح‌ریزی این مدل در سال ۲۰۱۱ آغاز شده و در سال ۲۰۲۰ به چاپ رسیده است)

گداخت در مقابل شکافت

اگر از انرژی گداخت و شکافت استفاده شود، می‌توان بیش از یک قرن تقاضای انرژی آینده را تأمین کرد. اگر خطرات زیست‌محیطی و سلامت اجتماعی در نظر گرفته شود، انرژی گداخت منبعی خواهد بود که سیاست‌گذاران به دنبال آن هستند.

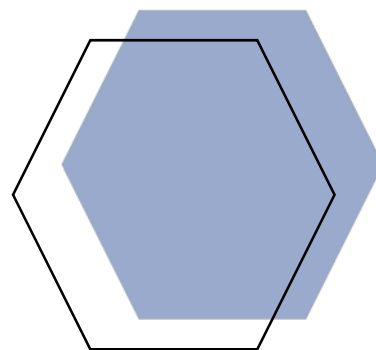
برای این تحلیل حتی اگر فرض کنیم که اورانیوم منبعی نامحدود است، در یک زمان واحد، هزینه‌ی استخراج انرژی با افزایش تقاضا به تدریج افزایش می‌یابد در نتیجه هزینه‌ی تولید برق از شکافت هسته‌ای نیز به صورت

تدریجی افزایش خواهد یافت. این برآورد برای محدوده مشخصی از هزینه‌های تولید برق انجام می‌شود و سهم بازار گداخت و شکافت به صورت همزمان قابل مشاهده است.



سهم کل انرژی گداخت و شکافت در بازار جهانی برق در سال‌های ۲۰۶۷ الی ۲۱۰۴ با فرض نامحدود بودن منابع اورانیوم نشان داده شده است. نقطه‌های سمت چپ، سهم‌های مربوطه در تامین تقاضای برق در سناریوی CO₂-550PPM است.

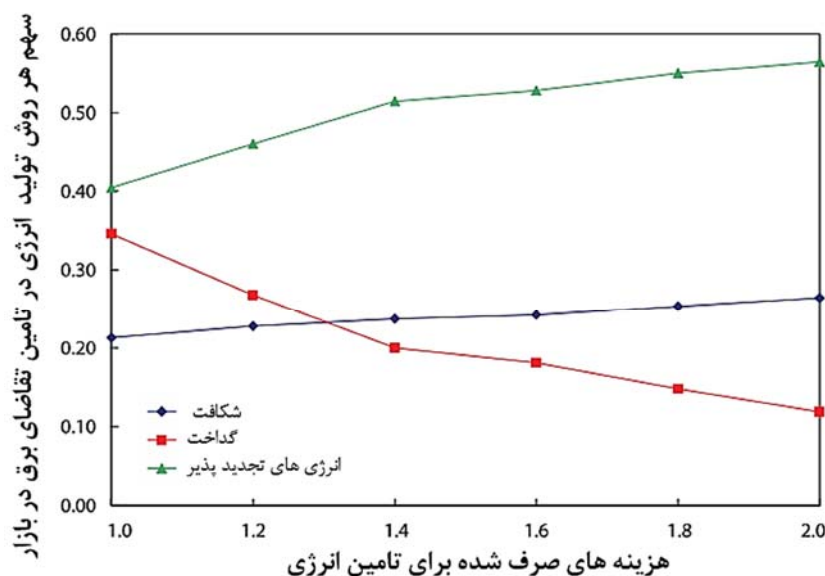
همانطور که از این تصویر مشاهده می‌شود، در صورتی که هزینه‌های تولید برق شکافت شده از حدود ۴,۵ ct/kWh بیشتر شود، گداخت هسته‌ای به بازار نفوذ می‌کند. در هزینه‌ی تولید برق شکافت حدود ۵ ct/kWh، گداخت هسته‌ای به دلیل سوخت ارزان آن به فناوری غالب در بخش برق تبدیل می‌شود.



گداخت در مقابل شکافت در مقابل انرژی‌های تجدیدپذیر

پیش‌بینی قابل اعتماد برای انرژی گداخت دشوار است، زیرا هنوز وجود ندارد. در تحلیل‌ها و پیش‌بینی‌های صورت گرفته در سناریو جهانی، هزینه‌های سرمایه‌گذاری گداخت مورد آزمایش قرار می‌گیرد. نتایج تجزیه و تحلیل را می‌توان با استفاده از سناریوی کربن CO₂-550PPM یافت. دلیل اینکه چرا انرژی شکافت به اندازه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر رشد نمی‌کند، با این فرض است که منبع اورانیوم می‌تواند ضعیف و یا تمام شود. همچنین،

می‌توان مشاهده کرد که پس از دستیابی به یک نیروگاه گداخت هسته‌ای هزینه‌های صرف شده بر روی آن به شدت کاهش خواهد یافت زیرا بخش عمده‌ای از سرمایه‌گذاری‌های صورت گرفته بر روی ساخت تاسیسات اولیه آن متمرکز است. در نتیجه، پس از تکمیل این تاسیسات و دستیابی به انرژی گداخت، به دلیل ارزان و در دسترس بودن سوخت آن (دوتروپوم) گداخت هسته‌ای نقش مهمی را در تامین انرژی ایفا خواهد کرد که مصادف با کاهش چشم‌گیر هزینه‌های مرتبط با آن در مقایسه با انرژی حاصل از شکافت و یا انرژی‌های تجدید پذیر است.



سهم تولید برق توسط فناوری‌های مختلف در سال‌های ۲۰۶۷ الی ۲۱۰۴ بر اساس هزینه‌های صرف شده در تامین انرژی با فرض سناریو کربن CO₂-550PPM

لازم به ذکر است که مدل‌های ارائه شده در سال‌های آتی با ظهور فناوری‌های جدید اصلاح خواهد شد، در این حالت، شاهد یک تسریع زمانی در نمودارهای ذکر شده خواهیم بود. در واقع، وقتی سوخت‌های مختلف تولیدکننده انرژی در مقایسه با هزینه‌ها، منابع و آسیب‌های وارده به محیط‌زیست مورد بررسی قرار می‌گیرند، گزینه‌های زیادی برای تامین نیازهای انرژی آینده ما باقی نمی‌ماند. در مقطعی از این قرن، به دلیل تمام شدن ذخایر یا زمانی که خطرات زیست‌محیطی بیش از حد بالا می‌رود، مجبور خواهیم شد استفاده از سوخت‌های فسیلی را متوقف کنیم. منابع انرژی تجدیدپذیر نقش مهمی در تقاضای انرژی ما دارند. اما دانشمندان و سیاست‌مداران بر این باورند که آنها هرگز نیاز انرژی ما را پر نمی‌کنند و گداخت یکی از منابع تامین انرژی آینده خواهد بود.

برای ساختن آینده‌ای امن و پاک، با ما همراه شوید:

fusion_ir@aeoi.org.ir

References:

<https://www.energy.gov>

<https://www.eia.gov/environment/>

