

انرژی‌های تجدیدپذیر: چشم‌اندازها و محدودیت‌ها

ساسان نصیراحمدی^{۱*}

s.nasirahmadi@gmail.com

کامران نصیراحمدی^۲

مهسا مقیمان^۳

مجتبی سعادت‌نی^۴

چکیده

در طی قرون گذشته سوخت‌های فسیلی به فرآیند صنعتی شدن و رشد اقتصادی ملت‌ها کمک شایانی کرده است اما پر واضح است که این نوع سوخت‌ها نمی‌توانند یک اقتصاد جهانی پایدار برقرار سازند. تا زمانی که نفت، گاز طبیعی و زغال سنگ روش‌های اصلی برای تأمین انرژی امروز محسوب شوند این منابع جواب‌گوی نیازهای آینده نخواهند بود. بنابراین بهترین روش برای حل مشکل انرژی، جلوگیری از تغییرات آب و هوایی و کاهش انتشار دی‌اکسید کربن، سرمایه‌گذاری عظیم در منابع انرژی تجدیدپذیر بر حسب مبانی تحقیقات و توسعه خواهد بود. هدف این پژوهش بررسی چشم‌اندازها و محدودیت‌های انرژی‌های تجدیدپذیر با تکیه بر مباحث اقتصادی می‌باشد. در این مقاله ابتدا به بیان کلیاتی در خصوص روش‌های تولید انرژی‌های تجدیدپذیر خواهیم پرداخت. در ادامه برای نیل به هدف اصلی این مقاله مباحث اقتصادی و همچنین چشم‌اندازها و محدودیت‌های مرتبط با روش‌های مختلف این نوع از منابع با استفاده از روش‌های شناخته شده با استناد به متون نظری، گزارشها و مقالات به صورت گزارش مروری مختصر ذکر گردیده است. بیشتر مطالعات حاضر مربوط به جامعه آماری ایالات متحده آمریکا به عنوان بزرگترین مصرف‌کننده انرژی دنیا، برخی از کشورهای اروپایی و ایران می‌باشد. در پایان نیز جمع‌بندی و نتایج حاصل از این مباحث مطرح می‌گردد که مهمترین آن لزوم توجه جدی به سرمایه‌گذاری در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد.

کلمات کلیدی: انرژی‌های تجدیدپذیر، مباحث اقتصادی، سوخت

۱- دانشجوی دکتری نانوبیوتکنولوژی از دانشکده و پژوهشکده علوم پایه، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران* (مسئول مکاتبات)

۲- دانشجوی دکتری محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

۴- استاد دانشکده و پژوهشکده علوم پایه، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران

مقدمه

هم اکنون میلیاردها نفر در سراسر جهان زندگی می‌کنند و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰، این رقم به ۹/۴ میلیارد نفر برسد (۱). در طی قرون گذشته، سوخت‌های فسیلی به فرآیند صنعتی شدن و رشد اقتصادی کشورها کمک شایانی کرده است اما پرواضح است که این نوع سوخت‌ها نمی‌توانند موجب برقراری اقتصاد جهانی پایداری شوند. پیش‌بینی‌ها حاکی از این است که در ۱۰۰ سال آینده منابع ذخیره نفت پایان خواهد یافت و در پیش‌بینی دیگری نیز این رقم در حدود سال ۲۰۲۵ ذکر شده است اما همچنان تقاضا برای این محصول با توجه به تجدید ناپذیر بودن این حامل انرژی رو به فزونی است (۲). البته این زمان کوتاه برای تاجران و مصرف‌کنندگانی که برنامه سه تا پنج ساله ای را دنبال می‌کنند زمان خوبی به شمار می‌رود اما در نگاه کلان برای عموم جامعه انسانی، مشکل بزرگی به وجود خواهد آمد. تغییرات عمده بنیادی در خصوص ملزومات جهانی انرژی بسیار گران بوده و شامل تغییرات اساسی در سبک زندگی ما خواهد بود. این تغییرات روی همه چیز، از گرمایش منزل و روشنایی تا نوع کار و زندگی و نحوه ایجاد این دو، تأثیر خواهد گذاشت. با توجه به مصرف بالای انرژی در پیشرفته‌ترین کشور دنیا یعنی ایالات متحده آمریکا، اغلب تحلیل‌ها و مثال‌ها از این کشور انتخاب شده است.

کل مصرف سالیانه انرژی در ایالات متحده آمریکا تقریباً $100 \text{ quadrillion BTU} = 10^{15} \text{ quads}$ یا $10^{15} \times 1/1$ ژول یا نرخ مصرف مستمر معادل $3/34 \text{ TW}$ ($1 \text{ TW} = 10^{12} \text{ W}$)، می‌باشد. در مقیاس جهانی، مصرف انرژی برابر $13/5 \text{ TW}$ می‌باشد (۱). بنابراین میزان مصرف انرژی در ایالات متحده آمریکا علی‌رغم اینکه ۵ درصد جمعیت کل جهان را دارا می‌باشد معادل ۲۵ درصد مصرف جهانی می‌باشد. انرژی در ایالات متحده آمریکا از منابع متعددی تأمین می‌گردد اما غالب‌ترین این منابع، سوخت‌های فسیلی می‌باشند. تقریباً ۱۸ درصد از این انرژی (600 GW) به صورت الکتریسیته در نیروگاه‌های برق بسیار بزرگ (1 GW)، تولید

می‌گردد. بازدهی نیروگاه‌های برق ۳۳ درصد بوده و بنابراین میزان انرژی به کار رفته جهت تولید این حجم از الکتریسیته، سه برابر خواهد بود. به طور مثال اگر یک پایه محاسباتی در حد ۳۰۰ میلیون نفر در آمریکا در نظر گرفته شود، هر نفر در آمریکا به طور متوسط، $1/1 \text{ KW}$ یا 97 Mwh/year (مگاوات ساعت در سال) از این انرژی را مصرف می‌کند. این سطح از مصرف انرژی چیزی نیست که ما در زندگی روزانه با آن سروکار داشته باشیم بلکه مقدار بیشتری از این انرژی نیز در حوزه‌های تولید و حمل و نقل مصرف یا به فرم گرما در چرخه‌های تبدیل و مصرف انرژی به هدر می‌رود. اگر بخواهیم به صورت جزئی‌تر به این قضیه نگاه کنیم به این نتیجه می‌رسیم که به طور متوسط میزان مصرف یک خانه در آمریکا برابر (کیلووات) KW $1/22$ است، این در حالی است که در کانادا این مقدار برابر $1/5 \text{ KW}$ (گرمایش غیر الکتریکی) تا $2/5 \text{ KW}$ (گرمایش الکتریکی) می‌باشد (۳).

در مقام مقایسه، به صورت سالیانه هر نفر در ایالات متحده آمریکا ۵۰۰ گالن گاز یا معادل 201 KW مصرف می‌کند. سؤال اساسی این است که در آینده میزان مورد نیاز چه مقدار خواهد بود؟ با یک تخمین اولیه بر حسب رشد جمعیت و ترکیب آن با رشد اقتصادی فعلی، میزان تقاضای انرژی معادل 41 TW (تریلیون وات) را تا سال ۲۰۵۰ با نرخ رشد فعلی انرژی نشان می‌دهد. به هر حال، با در نظر گرفتن روال مصرف انرژی پیش‌بینی شده، تصویری منطقی‌تر از مصرف و تقاضای انرژی معادل 27 TW و 43 TW به ترتیب تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ به دست می‌آید (۱). انرژی تجدیدپذیر جزو انرژی‌های نو و پاک به حساب می‌آید. رئیس جمهور آمریکا باراک اوباما در یکی از سخنرانی‌های خود در این باره می‌گوید: "از انرژی خورشید، باد و خاک برای تأمین سوخت ماشین‌ها و کارخانه‌های خودمان استفاده کنید." او با همین نگاه و با یک برنامه ۱۰ الی ۲۰ ساله جهت تأمین بخش مهمی از سرانه انرژی ایالات متحده آمریکا اقدام به حمایت یارانه‌ای در حوزه انرژی تجدیدپذیر نموده است. بر اساس آمار دپارتمان

انرژی، ایالات متحده می‌بایست تا سال ۲۰۱۲ و ۲۰۲۵ به ترتیب ۱۰ و ۲۵ درصد از الکتریسیته تولیدی این کشور را از منابع تجدیدشونده تأمین نماید(۴). البته سه قرن پیش نیز این کشور از انواع انرژی تجدیدپذیر مثل باد (توربین بادی)، برق آبی (توربین آبی) و سوخت‌های زیستی (اجاق‌های چوبی و استفاده از حیوان) بهره می‌برد و در حال حاضر نیز سعی دارد با مجموعه‌ای از منابع جدید مثل انرژی خورشیدی و ژئوترمال (زمین گرما) در این جهت حرکت کند.

اولین مباحث مربوط به اقتصاد انرژی‌های تجدیدپذیر شوک نفتی به بعد از سال ۱۹۷۳ میلادی برمی‌گردد. در آن موقع مفهومی چون تکنولوژی با صرفه و پشتیبان^۱ مطرح شد. این تکنولوژی نهایتاً جای منابع تمام شدنی و رو به پایان انرژی‌های تجدید ناپذیر را خواهد گرفت. در سال ۱۹۷۳ Partha Dasgupta و همکارش تحلیل هوتلینگ^۲ را بسط دادند(۵). همچنین Nordhaus در سال ۱۹۷۳ با همین رویه در کتاب خود بر روی تخصیص کارآمد منابع انرژی کار کرده است(۶). لزوم توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر، به این معنا که انرژی تأمین شده از منابع تجدیدناپذیر هیچ‌گونه جایگاه زیست محیطی ندارد، در مقاله‌ای با عنوان خاک فضایی^۳ بررسی شد. اما اطلاعات اندکی در خصوص این منبع انرژی و خصوصیاتش موجود بود. Kenneth Boulding's در سال ۱۹۶۶ بر روی اقتصاد خاک فضایی(۷) و Kiichir و Ralph D'arge و Kogiku(۸) روی رشد اقتصادی و محیط زیست کار کردند. هر دو مطالعه به لزوم استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و مشخصاً جوش هسته‌ای اشاره کردند اما در خصوص اقتصاد این منابع به صورت جزئی تحلیل مناسبی صورت نگرفته است. تغییرات آب و هوایی و این مسئله که جوش هسته‌ای نمی‌تواند راه حل معجزه‌آسایی برای حل این مشکل باشد، سیاست‌گذاران را بر این داشت تا به سمت تأمین منابع انرژی جدید کربنی آزاد در عرض چند دهه آینده بروند. البته منابع کربنی آزاد دقیقاً مثل انرژی‌های تجدیدپذیر نیستند. برای مثال، انرژی هسته‌ای یک

منبع کربن آزاد است اما به آن مفهوم تجدیدپذیر که مردم در ذهنشان دارند، نمی‌باشد. مثال دیگر زغال سنگ به همراه استحصال کربن و ذخیره‌سازی آن^۴ (CCS) است که در سطح خارجی، یک منبع کربن آزاد است اما به آن مفهوم تجدیدپذیر که دوستداران محیط زیست در ذهنشان دارند، نمی‌باشد. به هر حال انتخاب یکی از این سه نوع منبع انرژی یعنی هسته‌ای، زغال سنگ به همراه استحصال کربن و ذخیره‌سازی یا انرژی‌های تجدیدپذیر برای مصارف عمده اجتناب ناپذیر است. در این قسمت اثبات می‌شود که ترکیب کردن این منابع با انرژی تجدیدپذیر حداقل برای آینده نه چندان دور، ضروری به نظر می‌رسد. تجدید شونده‌ها در اشکال متعددی وجود دارند و تنها به منابع آبی، خورشیدی (فوتوولتائیک و ترمال) باد، ژئوترمال، ساحلی (جزر و مد)، سوخت‌های زیستی و فرآیندهای تبدیل ضایعات به انرژی محدود نمی‌گردد، هر چند این منابع جزء انرژی‌های تجدیدپذیر به شمار می‌آیند. البته در اینجا روی مواردی تأکید می‌شود که در آینده نزدیک بتواند به طور مؤثر روی تولید الکتریسیته تأثیرگذار باشد. همه‌ی این موارد، مباحث اقتصادی مربوط به خود را دارند. کلیه‌ی این منابع نیازمند به سرمایه‌گذاری اولیه بالا قبل از تولید انرژی می‌باشند اما هزینه سوختی ندارند (البته به جز روش تبدیل ضایعات به انرژی، ضایعات آزاد می‌باشند و هزینه‌ای ندارند). تنها هزینه‌های جاری آن‌ها مربوط به عملیات، نگهداری و البته مقداری ورودی انرژی در حالت تبدیل ضایعات به انرژی می‌باشد. برعکس، نیروگاه‌های انرژی که با سوخت فسیلی کار می‌کنند هزینه‌های سوختی بالایی دارند. مثلاً یک نیروگاه زغال سنگ که روزانه از ده هزار تن زغال سنگ استفاده می‌کند هزینه‌ای بالغ بر ۵۰ تا ۱۰۰ دلار در هر تن بر جای می‌گذارد. بنابراین هزینه‌های مربوط به سوخت بین ۵۰۰ هزار تا یک میلیون دلار در روز محاسبه می‌گردد. اتفاقاً، سوزاندن یک تن زغال سنگ بین ۱/۵ تا ۳/۵ تن دی‌اکسید کربن تولید می‌کند که البته این مقادیر بستگی به محتوای کربن زغال سنگ دارد. لذا این طور استنباط می‌گردد که هزینه‌ای در حدود ۳۰ دلار برای هر تن دی‌اکسید کربن،

1- Back Stop Technology
2- Hotelling
3- Spaceship Earth

حتی با هزینه‌های خارجی نیازمندیم. دلایلی هم وجود دارد که نشان می‌دهد هزینه‌های خارجی انرژی‌های تجدیدپذیر کمتر از نوع فسیلی خود، مخصوصاً با در نظر گرفتن انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد که البته اطلاعات جامع در این زمینه محدود می‌باشد.

روش بررسی

در این مقاله ابتدا به بیان کلیاتی در خصوص روش‌های تولید انرژی‌های تجدیدپذیر خواهیم پرداخت. در ادامه برای نیل به هدف اصلی این مقاله، مباحث اقتصادی و همچنین چشم‌اندازها و محدودیت‌های مرتبط با روش‌های مختلف تولید این منابع با استفاده از روش‌های شناخته شده با استناد به متون نظری، گزارشها و مقالات به صورت گزارش مروری مختصر ذکر گردیده است. بیشتر مطالعات حاضر مربوط به جامعه آماری ایالات متحده آمریکا به عنوان بزرگترین مصرف کننده انرژی دنیا، برخی از کشورهای اروپایی و ایران می‌باشد.

یافته‌ها

- تحلیل‌ها و هزینه‌های اجتماعی استفاده از سوخت‌های

فسیلی

برای مثال سؤالی که در اینجا مطرح می‌گردد این است که هزینه اجتماعی استفاده از سوخت‌های فسیلی چیست؟ در مقایسه هزینه‌های منابع تجدیدشونده و فسیلی تولید کننده الکتریسیته، این سؤال یک واقعیت کلیدی است. پر واضح است که یکی از هزینه‌های مهم سوخت‌های فسیلی بر اجتماع، انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. بر اساس گزارش اتحادیه اروپا، در یک سال و نیم گذشته هزینه مربوط به یک تن انتشار دی اکسیدکربن در جو بین ۱۳ تا ۲۵ دلار در نوسان بود. اما اتحادیه اروپا سیاست و رویه خاص خود را دارد و خیلی واضح نیست که این آمار تخمین قطعی در خصوص هزینه‌های اجتماعی باشد. هدف ما تخمین انتشار دی اکسیدکربن در طول روز و اثر باقی ماندن آن در جو در طی یک قرن آینده می‌باشد.

تحلیل‌های هزینه‌ای مربوط به تغییرات آب و هوا از سوی افرادی چون Stern در سال ۲۰۰۶ (۹) یا Nordhaus در سال ۲۰۰۹ (۱۰) منجر به تخمین هزینه‌های انتشار گازهای

هزینه‌های سوخت را در نیروگاه‌های زغال‌سنگ دو برابر می‌کند. انرژی هسته‌ای بر حسب ساختار هزینه‌ای، نزدیک به انرژی تجدیدپذیر می‌باشد و دلیل آن نیز هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بالا و هزینه‌های جاری و سوخت پایین می‌باشد. این حقیقت کاملاً صحیح است که منابع تجدیدپذیر نیاز به هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بالا و هزینه‌های جاری پایین دارند. اگر امروزه یک نیروگاه بادی احداث شود، به دنبال آن تا ۴۰ سال آینده انرژی مجانی (باد) برای مردم تأمین شده است، در صورتی که اگر یک نیروگاه زغال سنگ احداث شود، درست است که هزینه‌های اولیه بالایی ندارد اما به دنبال آن در ۴۰ سال آینده باعث تحمیل هزینه‌های مالی زیاد در حوزه سوخت و زیست محیطی بر آیندگان خواهد شد. وقتی یک نیروگاه از انرژی‌های تجدیدپذیر احداث شود، آن گاه هزینه‌های مالی چهل سال آینده پرداخت می‌شود اما آیندگان در آن زمان راحت‌تر و با امنیت انرژی بالاتری زندگی می‌کنند. به نظر می‌رسد که حمایت‌های مالی دراز مدت برای نیل به این هدف ضروری به نظر می‌رسد. در اینجا دو سؤال اساسی مطرح می‌گردد که سیاست‌گذاران می‌بایست به آن پاسخ دهند.

۱- آیا انرژی‌های تجدیدپذیر گران‌تر از سوخت‌های فسیلی هستند؟

۲- آیا امکان جایگزین کردن حجم قابل توجهی از انرژی‌های تجدیدپذیر به جای فسیلی وجود دارد یا خیر؟

البته یک مشکل اساسی در ارزیابی هزینه انرژی تجدیدپذیر وجود دارد و آن هم هزینه متوسط است که به مقیاس طرح بستگی داشته و می‌تواند به طور قابل توجهی تغییر کند. در این مطالعه هزینه متوسط مقایسه می‌شود و به این منظور از یک مقیاس استفاده می‌شود. اندازه‌گیری رایج هزینه در اینجا میزان تراز شده الکتریسیته^۱ (LCOE) می‌باشد. این اندازه‌گیری به این شکل تعریف می‌شود: هزینه ثابت که در آن الکتریسیته به مرحله فروش رسیده و بتوان جهت تولید تأسیسات با فرض ظرفیت حداکثر از آن بهره گرفت. این تعریف معمولاً برحسب هزینه‌های خصوصی است اما با دورنمای سیاسی، ما به LCOE

1-Levelized Cost Of Electricity(LCOE)

گلخانه‌ای ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی شده است اما این تحلیل‌ها موافقان زیادی ندارد. Nordhaus هزینه اجتماعی مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای را حدود ۸ دلار در هر تن برآورد کرده است. البته تخمین Stern برابر ۸۵ دلار می‌باشد. دلایل متعددی برای این اختلاف وجود دارد اما یکی از مهم‌ترین آن‌ها این است که Nordhaus از نرخ خالص با اولویت زمانی (نرخ استهلاک تأسیسات) ۴ درصد استفاده کرد و این در حالی است که Stern از نرخ خالص با اولویت زمانی ۰/۱ درصد استفاده کرد و در نتیجه می‌بینید که در طی یک قرن یا بیشتر چه تفاوت فاحشی بین این دو نرخ حاصل می‌گردد. Stern تخمین جامع‌تر و به روزتری از تغییرات آب و هوایی ارائه داده است. اما قسمت اصلی تفاوت در نرخ استهلاک می‌باشد. به مقاله Hope و Newberry مراجعه کنید (۱۱). با مطالعه این گزارشها، نظر Stern به بحث ما نزدیکتر می‌باشد. البته هدف ما این نیست که بخواهیم مقدار دقیق هزینه اجتماعی ناشی از به‌کارگیری سوخت‌های فسیلی را به دست آوریم.

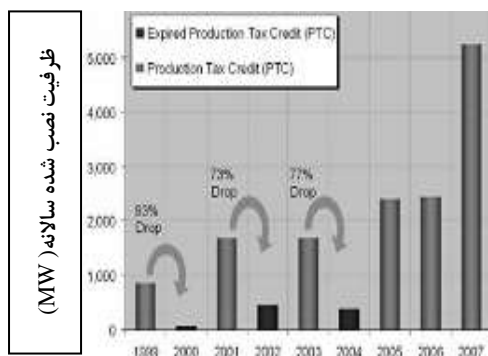
در سال ۲۰۰۸، Jon Strand هزینه انتشار دی اکسید کربن را محاسبه کرد و به این نتیجه رسید که مقدار به دست آمده از سوی او چندین برابر کمتر از مقداری است که Stern برای هزینه‌های اجتماعی برآورد کرده است (۱۲). هزینه گازهای گلخانه‌ای تنها هزینه خارجی مربوط به سوخت‌های فسیلی نیست بلکه در کنار آن می‌توان به انتشار گازهایی چون دی اکسید گوگرد و اکسیدهای مختلف نیتروژن و ذرات ریز اشاره کرد که عامل مخاطرات زیست محیطی، فقر سلامت و مرگ زودرس خواهد شد. هزینه‌های مربوط به انتشار این گازها توسط محققانی چون Parry (۱۳) و در مقاله‌ای دیگر توسط Parry And Small بررسی شده است (۱۴). برای مثال Krupnik و Burtra در سال ۱۹۹۶ به سه مطالعه در مورد هزینه‌های اجتماعی تولید الکتریسیته پرداختند که دو مورد آن در آمریکا و یک مورد آن در اروپا بود (۱۵). ارزیابی‌ها و مقایسه این دو نفر واضح و به صورت جزئی می‌باشد اما بسیار طولانی و پیچیده بوده و نمی‌توان آن را به طور قابل قبولی

خلاصه کرد. برای مثال در این مقاله به این مسئله پرداخته می‌شود که اثرات سلامتی در عرضه ظرفیت‌های جدید سوخت‌های فسیلی در تولید برق در ایالات متحده آمریکا ناچیز می‌باشد و این مسئله شاید به خاطر استانداردهای بالای انتشار و به کارگیری آن در نیروگاه‌های جدید باشد. به جهت وجود پوششی^۱ بر روی انتشار کل دی اکسید گوگرد، برای مثال، بسیار منطقی است که فرض کنیم هر گونه ظرفیت‌های جدید از سوخت‌های فسیلی اثر بسیار ناچیز و در حد صفر بر روی انتشار دی‌اکسید گوگرد دارد. با این تصور، پایین بودن هزینه خارجی حاشیه‌ای در ایالات متحده آمریکا منطقی به نظر رسیده و بسیار پایین‌تر از اروپا می‌باشد. البته هزینه‌های خارجی مرتبط با گازهای گلخانه‌ای با این بحث‌ها تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد. همان‌طور که گفته شد، یک تن زغال سنگ، دی‌اکسید کربنی معادل ۱/۵ تا ۳/۵ تن ایجاد می‌کند و به تبع آن هزینه اجتماعی این مقدار زغال سنگ مصرفی تقریباً با توجه به نمودار Stern، ۳۰۰ دلار خواهد بود که ۳ تا ۶ برابر هزینه عادی زغال سنگ می‌باشد. اگر بر اساس هزینه نیروگاه برق عمل کنیم افزایش LCOE از ۶ سنت در هر کیلووات ساعت تا ۱۱ سنت در هر کیلووات ساعت کافی به نظر می‌رسد. با یک مقایسه، در می‌یابیم که هزینه‌های خارجی سلامت، حداقل در آمریکا، کمتر از یک سنت در هر کیلووات ساعت می‌باشد بنابراین در اینجا تمرکز بر روی هزینه‌های خارجی، مرتبط با تغییرات آب و هوایی است و هزینه‌های خارجی آب و هوا برای کلیه منابع تجدیدپذیری که قبلاً ذکر شده تقریباً در حد صفر می‌باشد. لذا هزینه‌های خارجی تجدیدپذیر کمتر از سوخت‌های فسیلی و به مقدار ۵ سنت در هر کیلووات ساعت است. سوال مهم این است که هزینه‌های عادی این نوع از انرژی‌های تجدیدپذیر چقدر است؟ جواب این سؤال به چهار پارامتر بستگی دارد.

۱- هزینه‌های مربوط به نفت و سایر سوخت‌های فسیلی (که معمولاً به هم وابسته‌اند)

بماند. با این نگاه، یک واقعیت قابل توجه این است که آلمان بالاترین میزان نفوذ بازار را در بخش انرژی خورشیدی در جهان دارد. اما همین کشور ساعات تابش خورشید کمتری نسبت به بعضی کشورهای دیگر دارد. البته به طور قابل توجهی تعیین تعرفه‌های مشخص برای برق خورشیدی، منجر به تصمیم دولت برای قادر ساختن آلمان در تولید ابزارهای خورشیدی شده است. (پیشگام در ساخت وسایل نیروگاه‌های خورشیدی).

در ایالات متحده آمریکا سیاست‌های دوگانه روی اعتبارات مالیاتی سرمایه‌گذاری اثری واضح بر سرمایه‌گذاری در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر داشته است که نتایج آن در شکل ۱ آمده است (۱۹).



شکل ۱- اثر تاریخی انقضاء PTC روی نصب ظرفیت بادی سالانه (۱۹)

به طور مثال در حال حاضر سه فاکتور از چهار فاکتور ذکر شده برای انرژی‌های تجدیدپذیر در ایالات متحده آمریکا جهت سرمایه‌گذاری در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر نامطلوب است که عبارتند از: قیمت نفت و سوخت‌های فسیلی دیگر که در حال حاضر تقریباً پایین و اقتصادی است، هزینه انتشار کربن صفر بوده و هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه تقریباً کم است. در این بین تنها سیاست تنظیمی می‌تواند مطلوب باشد که آن نیز به واسطه بخش‌نامه‌های دستوری محقق می‌گردد. در درازمدت انتظار صفر ماندن هزینه انتشار کربن دور از ذهن بوده و بنابراین سیاست صفر کردن هزینه انتشار کربن تا کجا می‌تواند پیش رود؟ این سؤال ذهن بسیاری از سرمایه‌گذاران بخش الکتریسیته را در آمریکا به خود مشغول ساخته است. چرا که در صورت برداشتن این چتر حمایتی از سوی کنگره، سرمایه‌گذاری

۲- هزینه انتشار کربن یا آن مقدار از هزینه‌های خارجی که درونی شده‌اند.

۳- هزینه‌های اولیه

۴- وجود انگیزه در تولیدکنندگان الکتریسیته سبز (جنبه دیگر درونی‌سازی هزینه‌های خارجی)

سرمایه‌گذاری درازمدت در نیروگاه‌هایی با منابع تجدیدپذیر با در نظر گرفتن مقادیر پارامترهای ذکر شده در آینده یک نوع شرط‌بندی به حساب می‌آید. نباید فراموش کرد که قیمت نفت فرار می‌باشد. بعد از داد و ستد نزولی نفت تا سال ۱۹۷۵، در حال حاضر با یک پراکنش بالا در حال افزایش می‌باشد. البته این فراریت و نوسانها با توجه به قیمت نفت و حساس بودن تقاضا با توجه درآمد ملتها و دولت‌ها طبیعی به نظر می‌رسد (۱۶ و ۱۷) نوسانات درآمدی منجر به تغییرات در عرضه نفت شده و تعادل جدید، نیازمند جنبش عظیم در قیمت‌ها می‌باشد. قیمت بالای نفت یکی از فاکتورهایی بود که در سال ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ سرمایه‌ها را به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر روانه ساخت و افت این سرمایه‌گذاری‌ها در اواخر ۲۰۰۸ و سال ۲۰۰۹ در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر به واسطه افت سریع قیمت نفت بوده است (۱۸).

طبق نظر Michael Hoel در سال ۲۰۰۸، قیمت‌های نفت عوامل خارجی^۱ و دوگانه‌ای دارد، که در آن انتقال تقاضا به سمت منابع تجدیدپذیر باعث کاهش قیمت‌های نفت خواهد شد. نقش قیمت‌های کربن واضح می‌باشد. ما دریافته‌ایم که چگونه هزینه انتشار کربن می‌تواند باعث افزایش هزینه تولید الکتریسیته از زغال سنگ شده و باعث رقابتی شدن منابع تجدیدپذیر گردد. پیش‌بینی اعمال قیمت ناشی از انتشار کربن (برای مثال در پنج سال گذشته در آمریکا) مرتبط با افت شدید سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های زغال سنگ بوده است.

هزینه‌های اولیه انرژی‌های تجدیدپذیر بسیار بالا است و معمولاً هزینه‌های اولیه در هر مگاوات بالاتر از نیروگاه‌های فسیلی می‌باشد. به علاوه، اهمیت انگیزه‌های مالی جهت سرمایه‌گذاری در بخش انرژی تجدیدشونده نباید از نظر اقتصاددانان پوشیده

داشت. منبع زغال سنگ به مفهوم کربن آزاد نزدیک تر است و این مسئله لزوماً در تضاد با هدف کاهش عمده در گازهای گلخانه ای نخواهد بود.

یکی از مسائلی که در مورد پیوسته نبودن مطرح می گردد هزینه اجتماعی مرتبط با استفاده از این منابع تجدیدشونده مقطعی مثل باد است. در کنار آن هزینه های مربوط به ظرفیت سازی جهت تعویض در زمانی که کار نمی کند یا بعضاً هزینه تقاضای برق در ساعاتی که باد نمی وزد و به طور کلی پیوستگی وجود نداشته باشد، مطرح است. این مسائل نشان می دهد که یک هزینه گسترده سیستمی مرتبط با به کارگیری این منابع برق ناپیوسته وجود دارد. باد هم اکنون به نسبت جزء پرمصرف ترین نوع از منابع تجدیدپذیر به شمار می آید و در کنار آن یکی از رقبای جدی زغال سنگ می باشد. در مسیر رقابتی شدن انرژی باد دو مشکل وجود دارد که عبارتند از: ناپیوستگی و مکان طرح، که در جاهایی که حتی بادهای منظم و قوی وجود دارد، صدها مایل از محل هدف مصرف دور می باشند بنابراین به کارگیری باد مستلزم سرمایه گذاری در ظرفیت شبکه می باشد. برای مثال در ایالات متحده آمریکا بهترین مراکز نیروگاه بادی اساساً در مرکز شهر می باشند. بسیاری بر این باورند که انرژی گرفته شده از مناطق مختلف آمریکا مثل تگزاس، کانزاس و داکوتای شمالی برای تأمین برق کل آمریکا کافی است و این در حالی است که بسیاری از محققان مثل Mackay در سال ۲۰۰۹ و Elliot و همکارانش در سال ۱۹۹۱ خلاف این مطلب را اذعان داشته اند (۲۰). در ادامه به این نتیجه می رسیم که توان ژئوترمال و خورشیدی می تواند جواب گوی کل نیاز آمریکا باشد. البته منابع تجدیدشونده نیز در صورتی که با هزینه های منطقی استخراج گردند، جواب گو خواهند بود.

– باد

بادهای ساحلی قوی تر و منظم تر می باشند و این نیروگاه های برق ساحلی می توانند نزدیک تر به محل هدف (مصرف) ساخته شوند در نتیجه مزیت هایی چون خروجی توان بیشتر، هزینه های کمتر ناشی از عدم پیوستگی جریان

در این حوزه به خطر می افتد. سؤال اساسی در واقع جنبه های مثبت سیاست تنظیمی در مقابل زلزله و ناامنی روانی و سیاسی ناشی از قیمت کربن (هزینه انتشار) و هزینه های پایه سوخت های فسیلی می باشد.

با توجه به این دیدگاه و پرسش، منطقی است که انتظار داشته باشیم با پایان یافتن بحران فعلی و رسیدن اقتصاد جهانی به مرحله رشد قبل از بحران اقتصادی، قیمت نفت و سایر سوخت های فسیلی دوباره به روال گذشته برگشته و همان طور که قبلاً گفتیم عرضه و تقاضا به شدت تحت تأثیر قیمت ها و تقاضا وابسته به درآمد دولت ها بوده، لذا افزایش تقاضا و به تبع آن افزایش درآمدها مستلزم جنبش عظیم در قیمت ها جهت پاک سازی بازار می باشد. بسیاری از منابع تجدیدپذیر فعلی خصوصاتی (نقاط ضعف) دارند که مانع از نفوذ گسترده آن ها در بازار سرمایه و سرمایه گذاری در بخش الکتریسیته می شود. برای مثال انرژی خورشیدی زمانی به وجود می آید که خورشید بتابد و انرژی بادی زمانی فراهم می گردد که باد شروع به وزیدن کند. این موقت بودن منابع تجدیدپذیر باعث تحمیل کردن هزینه هایی بر روی تأسیسات نیروگاهی استفاده کننده از منابع تجدیدپذیر می گردد. برای سرمایه گذاران این مسئله بسیار اهمیت دارد. زیرا ظرفیت کم و عدم پیوستگی این منابع، رقابت پذیری این منابع را دچار محدودیت ساخته و موجب افزایش LCOE می گردد. در صنعت برق مفهومی به نام بار پایه^۱ وجود دارد که در آن تقاضا از این حد پایین تر نمی آید. وقتی تقاضا در صبح بالاتر از بار پایه باشد، نیروگاه های بیشتری به خطوط برخط وصل می شوند که ممکن است نیروگاه های زغال سنگ دیزلی یا تجدیدپذیر باشند.

اگر انرژی های تجدیدپذیر بتوانند زمانی که تقاضایی برای آن وجود ندارد، ذخیره گردند، با این روش می توان بر مشکلاتی چون عدم پیوستگی آن فایده آورده و به بازار عرضه کرد. تا زمانی که این چنین ذخیره سازی صورت بگیرد مطمئناً به طور مداوم درخواست هایی برای زغال سنگ یا انرژی هسته ای به عنوان یک منبع پایدار با توان پایه یک نواخت وجود خواهد

سایت‌های بزرگ در حدود ۱/۸ تا ۲/۰۷ میلیون دلار در هر مایل می‌باشد (۲۲).

- انرژی خورشیدی

انرژی خورشیدی فرم دیگری از انرژی‌های تجدیدپذیر است و هیچ‌گونه ابهامی در خصوص فراوانی انرژی خورشیدی ساطع شونده به زمین وجود ندارد. طبق نظر دانشمندان آمریکایی «تابش چهل دقیقه‌ای» خورشید به زمین، معادل انرژی مصرفی یک سال کل ساکنان زمین است. ایالات متحده آمریکا در این زمینه پتانسیل قابل قبولی دارد. حداقل ۲۵۰۰۰۰ مایل مربع در جنوب غربی آمریکا به تنهایی برای ساخت نیروگاه خورشیدی کافی است و این مناطق میزان حرارت و انرژی معادل ۴۵۰۰ کادریلیون (عدد یک با ۱۵ صفر به توان ۲) واحد انرژی انگلیسی^۱ (Btu) در طول یک سال دریافت می‌کنند. به فرض ساخت این نیروگاه، تنها تبدیل ۲/۵ درصد از این مقدار تابش به الکتریسیته میزان انرژی کل ایالات متحده آمریکا را تا سال ۲۰۰۶ تأمین می‌کرد (۲۳).

انرژی خورشیدی به دو فرم فوتوولتائیک (PV)^۲ و حرارت خورشیدی یا توان خورشیدی مرکزی (CSP)^۳ وجود دارد. در فوتوولتائیک خورشیدی نور بر روی پانل‌های فوتو-الکترونیک افتاده و جریان الکتریکی تولید می‌کند و این در حالی است که در CSP نور خورشید توسط آینه‌هایی متمرکز شده و جهت ایجاد بخار و به حرکت در آمدن توربینی که تولید الکتریسیته می‌کند، به کار می‌رود. البته فوتوولتائیک خورشیدی به شکل گسترده‌تری وجود دارد و معمولاً بر روی بام خانه‌ها نصب می‌گردد اما فرم CSP برای استفاده در مقیاس بزرگ مستعدتر می‌باشد. هزینه سیستم‌های فوتوولتائیک خورشیدی بالا می‌باشد به طوری که میزان تراز الکتریسیته برای آن در حدود ۳۰-۲۵ سنت در هر کیلووات ساعت و هزینه اولیه آن در حدود ۷۰۰۰ دلار در هر کیلووات می‌باشد که مثلاً در ایالات

باد و ظرفیت بزرگتر موجب می‌شود که هزینه تولید برق بادی در حالت دور از ساحل با ۴۰۰۰ دلار در هر کیلووات به ۲۰۰۰ دلار در هر کیلووات در حالت ساحلی کاهش یابد. برای مقایسه، هزینه‌های اولیه زغال‌سنگ (نیروگاه) در حدود ۱۷۰۰ تا ۱۹۰۰ دلار در هر کیلووات است و در بعضی از موارد کنونی تا ۲۵۰۰ دلار در هر کیلووات بدون محاسبه CCS می‌رسد (۲۱). اگر اعتراض‌های زیست‌محیطی از سوی سازمان‌های مردم‌نهاد مرتبط با محیط زیست و حتی سازمان محیط زیست را در نظر نگیریم، ساخت توربین‌های بادی با روتورهای بزرگتر دور از ساحل ممکن بوده و خروجی توان، متناسب با محیطی است که توسط پره‌های روتور اشغال می‌گردد که البته با هر مترمربع افزایش می‌یابد. بنابراین توربین‌های بادی بزرگتر، سریعتر و بهتر می‌باشد.

هزینه تراز شده الکتریسیته (LCOE) برای بادهای ساحلی در حدود ۸ تا ۱۰ سنت در هر کیلووات ساعت می‌باشد و برای زغال‌سنگ، بدون تغییر در انتشار میزان کربن کمتر از ۷ سنت می‌باشد اما با اعمال هزینه کربن بر زغال‌سنگ، عدد مورد نظر حتی بیشتر از هزینه نیروگاه باد می‌شود. گاز طبیعی و دیزل گرانتر از زغال‌سنگ بوده و در برابر قیمت‌های کربن حساس می‌باشند، اگر چه این حساسیت کمتر از زغال‌سنگ (دی اکسید کربن کمتر در هر واحد انرژی) می‌باشد.

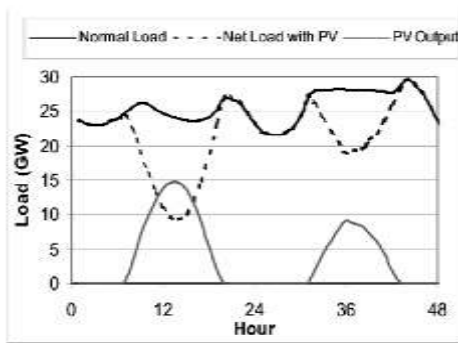
- انرژی هسته‌ای

بحث‌های زیادی بر سر هزینه‌های انرژی هسته‌ای وجود دارد که در خوش‌بینانه‌ترین حالت، میزان هزینه تراز شده الکتریسیته بین ۸ تا ۱۰ سنت در هر کیلووات ساعت خواهد بود. سزاوار است که بگوییم انرژی هسته‌ای به خاطر هزینه بالای آن بدنام است. بنابراین باد ساحلی حداقل زمانی که به صورت پایدار می‌وزد قابل رقابت با انرژی هسته‌ای است. البته در این تحلیل هزینه اجتماعی ناشی از قطع باد برای مشتریان حذف شده است که نیاز به سرمایه‌گذاری جدی دارد. به عنوان مثال در مطالعاتی که در ایالت نگزاس آمریکا صورت گرفته مشخص شده است که هزینه‌های وصل مزارع بادی به

1 - British Thermal Units

2 - Photo Voltaic

3 - Concentrated Solar Power



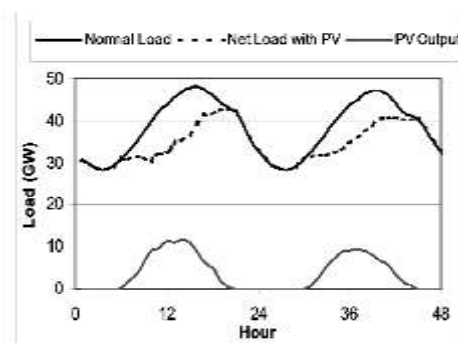
شکل ۳- بار سیستم در حضور و بدون حضور سیستم بزرگ فوتوولتائیک در دو روز بهار (۲۴)

در حالت روزهای بهار، وقتی هیچ گونه تقاضایی برای مصرف انرژی سیستم های خنک کننده (کولر) وجود ندارد، میزان خالص تقاضا برای انرژی فوتوولتائیک کمتر از ظرفیت توان پایه می باشد. این مسئله مشکل زیر را ایجاد می کند به این شکل که نیروگاه های برق بر پایه بار ثابت، معمولاً هسته ای یا زغال سنگی با حجم گسترده بوده و خروجی این نیروگاه ها به آسانی قابل تغییر (افزایش یا کاهش) نیست. به تبع آن، احتمالاً تأسیسات اقدام به رد انرژی خورشیدی می کنند تا این که بخواهند میزان بار پایه خروجی خود را کاهش دهند و به این معنی است که انرژی خورشیدی حتی اگر تولید هم شود قابل فروش نخواهد بود. البته چون هزینه حاشیه ای آن تقریباً صفر است بنابراین می توان با روش هایی آن را ذخیره کرد برای مثال یکی از این روشها به کارگیری آن جهت آبکافت و سپس ذخیره سازی هیدروژن تولید شده برای استفاده در پیل های سوختی می باشد. البته با انرژی بدست آمده از باد نیز می توان عمل مشابه را انجام داد. اما تا این لحظه چنین کاری صورت نپذیرفته است. یکی از مزایای این کار می تواند حذف عامل منفی عدم پیوستگی انرژی باد و خورشید باشد (چون ذخیره سازی می گردد). حرارت خورشیدی نه تنها باعث غلبه بر هزینه های سیستم فوتوولتائیک می گردد بلکه پتانسیل مناسب برای ذخیره سازی برق جهت کاستن از مشکل عدم پیوستگی را نیز دارد.

سیستم CSP برای گرم کردن کلرید سدیم بالاتر از نقطه جوشش با عبور دادن این حرارت از مبدل های حرارتی و

متحدہ آمریکا و کالیفرنیا با یارانه های دولتی و ایالتی میزان تراز الکتریسیته به ۱۱ سنت در هر کیلووات ساعت می رسد.

پیش بینی می شود که هزینه ها با به کارگیری همزمان فوتوولتائیک خورشیدی و زغال سنگ بین سال های ۲۰۲۰-۲۰۱۵ کاهش خواهد یافت. البته این زمان با تعریف قیمت مشخص برای کربن، کاهش خواهد یافت. به نظر می رسد حرارت خورشیدی یا CSP رقابت پذیری بیشتری داشته باشد. بعضی از شرکت ها در ایالات متحده آمریکا ادعا می کنند که برق را با نظام مالی فعلی با قیمت ۱۱ سنت در هر کیلووات ساعت ارایه کرده و عنوان می کنند که این میزان بیشتر کاهش می یابد. هر دو فرم انرژی خورشیدی یعنی PV و CSP دارای مشکلاتی چون عدم پیوستگی انرژی خورشیدی می باشند که پتانسیل آنها را جهت جایگزین شدن با سوخت های فسیلی کاهش می دهد. در یک مقاله جالب توسط آزمایشگاه ملی انرژی های تجدیدپذیر^۱ (NREL) این مسئله مطالعه شده و نتایج آن در شکل ۲ و ۳ آمده است که تخمین این آزمایشگاه را در مورد مواردی چون میزان کل تقاضا برای الکتریسیته، خروجی فوتوولتائیک خورشیدی و تقاضا برای انرژی های غیر خورشیدی در دو روز از تابستان در ایالت تگزاس و دو روز در ماه مارس را نشان می دهد (۲۴).



شکل ۲- بار سیستم در حضور و بدون حضور سیستم بزرگ فوتوولتائیک در دو روز تابستان (۲۴)

و تبادل زمینی^۴ وجود دارد. ویژگی کلیدی این روش این است که هر چه به عمق زمین نزدیکتر می‌شویم گرمای آن بیشتر است و در سطوح زیرین زمین با تغییرات فصلی ثابت می‌ماند.

حرارت موجود را می‌توان با فرستادن آب به اعماق زمین و استحصال آب گرم شده در اعماق استخراج نمود. در اینجا نیازی به سوخت نیست البته به مقدار جزیی، به برق جهت پمپ کردن آب نیاز است لذا در این جا سرمایه‌گذاری زیادی مورد نیاز است. به لحاظ زیست محیطی مشکل عمده ای وجود نداشته اما مکان‌یابی طرح جزء مشکلات محسوب می‌شود. بارزترین فرم انرژی ژئوترمال در کشورهای زلزله‌خیز مثل ایسلند است که بیشتر انرژی خود را از این طریق و در واقع از صخره‌های داغ نزدیک سطوح زمین تأمین می‌کند. برای مثال کشور فیلیپین ۲۰ درصد از انرژی و ایالت کالیفرنیا در آمریکا نیز به دلیل ماهیت زلزله‌خیز بودنش در حدود ۷۵۰ مگاوات از انرژی خود را از این طریق تأمین می‌کند.

بخار خشک، بخار آبی و سیستم‌های ژئوترمال دوتایی نیاز به صخره‌های داغ منفذ داری دارند که در آن آب به طور طبیعی وجود داشته و به تبع آن به صورت فوق بخار در می‌آید (یعنی بالاتر از نقطه جوشش اما با اعمال فشار به صورت مایع باشد). از این انرژی جهت حرکت توربین‌ها استفاده شده و جزء سیستم‌های انرژی برق حرارتی^۵ (هیدروترمال) می‌باشد. صخره‌های داغ منفذ دار عموماً در مناطقی که به لحاظ زمین‌لرزه فعال می‌باشند وجود دارند و کلیه نیروگاه‌های ژئوترمال از یکی از این سه نوع طراحی ذکر شده (بخار خشک و ... بهره می‌گیرند (۲۶). فناوری‌های ذکر شده محدود به مناطق فعال به لحاظ زمین لرزه بوده اما سیستم‌های ژئوترمال پیشرفته (EGS) این محدودیت را ندارد.

– سیستم‌های ژئوترمال پیشرفته (EGS)

این روش استخراج انرژی از صخره‌های داغ زیرزمینی، مستقل از وجود منابع ذخیره‌ای از آب فوق داغ می‌باشد. اصول این روش حفاری به سمت صخره‌های داغ خشک و سپس پمپاژ

از آنجا به توربین‌ها به کار می‌رود. اگر به کلرید سدیم هفت ساعت حرارت داده شود می‌تواند آن را حفظ و ذخیره کند. بنابراین نیروگاه برق CSP که از این فناوری بهره بگیرد می‌تواند تا هفت ساعت پس از غروب خورشید انرژی را ذخیره کند که این مقدار برای زمان اوج مصرف در زمان عصر کافی به نظر می‌رسد. با به‌کارگیری این روش LCOE به حدود ۱۵ سنت در هر کیلووات ساعت می‌رسد که بالاتر از زغال‌سنگ است اما در آینده‌ای نزدیک با پیشرفت تکنولوژی قابلیت رقابت پذیری با زغال‌سنگ را پیدا می‌کند.

اگر چه در حال حاضر فوتوولتائیک خورشیدی جهت اتصال به شبکه رقابت پذیر نمی‌باشد اما در بسیاری از کاربردهای توزیع شده وجود دارد. وقتی شبکه‌ای نباشد هزینه اتصال چند پایگاه فوتوولتائیک خورشیدی کوچک کمتر از حالتی است که بخواهیم یک ایستگاه برق زغال‌سنگی بزرگ یا شبکه مربوط به آن را بسازیم. سیستم‌های فوتوولتائیک می‌توانند در سطح مصارف خانگی با نصب آن‌ها در سقف‌های خانه به کار روند. مثلاً شرکتی به نام سان ادیسون^۱ با نصب این پانل‌های خورشیدی اقدام به فروش این برق به مغازه‌های اطراف شرکت و در بعضی از مواقع به شبکه برق نموده است.

– زمین گرمایی

مانند انرژی خورشیدی، منابع انرژی زمین گرمایی یا ژئوترمال ظرفیت تأمین انرژی مورد نیاز کل ایالات متحده آمریکا را دارا می‌باشند. بر اساس مطالعاتی که دانشگاه ام. آی. تی^۲ انجام داده تنها دو درصد از انرژی ژئوترمال در عمق ۳ تا ۱۰ کیلومتری زمین، معادل ۲۵۰۰ برابر انرژی مصرفی کل کشور آمریکا است (۲۵).

برخلاف انرژی بادی و خورشیدی، انرژی ژئوترمال مشکل عدم پیوستگی را ندارد اما مشکل توزیع جغرافیایی وجود دارد. انرژی ژئوترمال به فرم‌های مختلفی چون بخار خشک، بخار فلاش، دو جزیی، سیستم‌های ژئوترمال^۳ پیشرفته (EGS)

1 - Sun Edison

2 - M.I.T

3 - Enhanced Geothermal Systems

4 - Geo Exchange

5 - Hydro Thermal

انرژی جهت پمپ کردن مایع به زمین و برگشت آن می باشد. درست است که در مقایسه با سیستم های معمولی و رایج ارزان تر است اما دوره برگشت سرمایه ای در حدود ۲ تا ۷ سال دارد که البته اگر هزینه های مرتبط با کربن را در نظر بگیریم این میزان کمتر می شود. این فناوری کاربردی بوده و در اصل دلیلی وجود ندارد که با این همه مزایا و هزینه حاشیه ای صفر و روش کاملاً عاری از کربن (دی اکسید کربن) ساختمان ها را با روش های معمولی و پرهزینه گرم یا سرد نماییم. دلیل مغفول ماندن این تکنولوژی بر ما پوشیده است.

-انرژی های تجدید پذیر مرتبط با آب

سه نوع فناوری مرتبط با انرژی های تجدیدپذیر که مرتبط با آب هستند، موجود است، که عبارتند از: انرژی آبی، بادی و امواج دریا. در حال حاضر به طور مثال ۶ درصد کل انرژی آمریکا با روش برق آبی تأمین می گردد و هیچ گونه آلاینده ای تولید نمی کند (۳۰). البته امروزه ما از اثرات اکوسیستمی این روش در رودخانه آگاه هستیم. لذا این روش خیلی در ایالات متحده آمریکا و دیگر کشورها خصوصاً زمانی که مسایل مربوط به گردشگری مطرح می گردد، مطلوب نیست و دارای مخالفان قابل توجهی است.

در سیستم انرژی بادی، در واقع از انرژی جنبشی حاصل از بادهای جهت تولید الکتریسیته استفاده می گردد. با اینکه تحقیقات گسترده ای در این زمینه در جریان است اما کاربردهای تجاری آن کاملاً محقق نشده است. البته چندین نوع از این توربین های بادی در ایالت کالیفرنیا و اسکاتلند و همچنین در کشور عزیز ما ایران نیز در مناطقی چون منجیل نصب و راه اندازی شده است. شواهد حاکی از این است که با قیمت های فعلی این روش قابل رقابت در بازار نیست و در آینده با پیشرفت علم و تجربه ممکن است این مقدار (قیمت) کاهش یابد. انرژی امواج، نیز نوع دیگری از انرژی مرتبط با آب است که با نصب توربین های ویژه در مسیر امواج، باعث ایجاد الکتریسیته می گردد. البته این روش مراحل آزمایشی خود را می گذراند و نیروگاه های محدودی وجود دارند که با این روش کار می کنند که یکی از آن ها در نیویورک در رودخانه شرقی بین جزیره

آب خنک در فشار بالا جهت شکستن آنها می باشد. این تکه های شکسته شده شکلی از انرژی ذخیره ای در صخره ها به شمار می روند که آب به وسیله آن گرما دیده و آب داغ از طریق یک سوراخ دیگر به بالا منتقل می شود. اگر چه اصول اولیه کار آسان می باشد اما ثابت شده است که در عمل با چالش هایی مواجه خواهیم شد. چرا که نیاز به حفاری چندین مایل در صخره های سخت خواهد بود (۲۷). دانشگاه ام. آی. تی اخیراً نشان داد که در طی دو دهه، انرژی استحصال شده با این روش در آمریکا معادل ۵ تا ۱۰ سنت خواهد بود و تا سال ۲۰۵۰، میزان الکتریسیته ای در حدود صد هزار مگاوات از این منبع استخراج می گردد که معادل ۱۰ درصد میزان انرژی است که توسط تأسیسات برقی ایالات متحده آمریکا تأمین می گردد. به هر صورت، باید پیرو این پیشنهاد دانشگاه ام. آی. تی این مسئله را فراموش نکرد که هنوز تأسیسات EGS به صورت تجاری ساخته نشده اند و بعضی از محققان نیز بر این باورند که استخراج حرارت موجب سرد شدن صخره ها در طی یک یا دو دهه آینده خواهد شد بنابراین این روش ناپایدار بوده و سوراخ های حفاری شده می بایست در محل دیگر تجدید گردند (۲۸ و ۲۹). البته انرژی ژئوترمال در صورتی بسیار اقتصادی و رقابتی خواهد شد که هزینه ها به میزان ۳/۵ سنت در هر کیلووات ساعت برسد. در نتیجه می تواند باعث تأمین بار پایه شده و مسایل زیست محیطی نیز مرتفع می گردد که به دنبال آن دیگر هزینه های مرتبط با انتشار دی اکسید کربن را نخواهیم داشت. مفهوم تبادل زمینی مربوط به کاربرد پمپ های حرارتی جهت استفاده از انرژی زیرزمینی در اعماق کم، جهت گرما دهی و خنک سازی ساختمان ها می باشد. ده فوت بالای زمین دارای حرارت تقریباً ثابت ۱۰ تا ۱۶ درجه سانتی گراد می باشد. در زمستان گرما از نقاط گرم تر زمین به مبدل های حرارتی خانه منتقل می شود. در تابستان هوای گرم داخل خانه از طریق مبدل های حرارتی به مناطق و نقاط خنک تر کشیده می شود. حرارتی که در تابستان منتقل می شود می تواند به عنوان یک منبع گرم کننده آب و بدون هزینه مورد استفاده قرار گیرد. هزینه های این سیستم ها پایین بوده و صرفاً نیازمند تأمین

یکی از گزینه‌ها، شکستن مولکولهای هیدروکربن زغال‌سنگ به کربن، هیدروژن و اکسیژن قبل از سوزاندن زغال‌سنگ، حذف کربن و سوزاندن هیدروژن می‌باشد. گاز خروجی، بخار آب بوده و کربن با اکسیژن سوخته و تشکیل دی‌اکسید کربن می‌دهد که این گاز به راحتی قابل استحصال است. گزینه نهایی حذف کل نیتروژن از هوایی است که برای سوزاندن زغال از آن استفاده می‌شود لذا در این روش به طور مؤثر در اکسیژن خالص سوزانده شده و جریان خروجی خالص از دی‌اکسید کربن حاصل می‌گردد. در این حالت نیاز به جداسازی دی‌اکسید کربن نبوده و کل جریان خروجی به صورت مایع ذخیره می‌گردد.

کلیه این روشها مستلزم درک و فهم بالای ما از واکنش‌های شیمیایی بوده که در این صورت مشکلات فنی پیش نخواهد آمد. یکی از اینها مایع سازی و ذخیره دی‌اکسید کربن می‌باشد. تنها پیچیدگی موجود در اینجا جا یابی محلی برای ذخیره‌سازی آن بدون برجای گذاشتن نشتی، در درازمدت می‌باشد که برای مثال می‌توان به یک میدان گازی اشاره کرد که می‌تواند گاز را تحت فشار تا میلیون‌ها سال نگهداری کند در نتیجه با این اوصاف می‌توان از این ایده برای ذخیره‌سازی و نگهداری دی‌اکسید کربن برای مدت زمان مشابه بهره گرفت. بر اساس نظریات زمین‌شناسی، دی‌اکسید کربن جهت تشکیل کربناتهای جامد با صخره‌ها واکنش می‌دهد. زمین‌شناسان معتقدند که دی‌اکسید کربن منتشر شده می‌تواند تا یک دهه یا یک قرن در زیرزمین ذخیره شود. البته این ذخیره‌سازی در کنار زمینهای نزدیک به نیروگاه‌های برق مجاز نمی‌باشد بنابراین هزینه‌های مرتبط با لوله‌کشی را نیز می‌بایست به باقی هزینه‌ها اضافه کرد (۳۱).

مهمترین مشکل CCS، نبود تأسیساتی در مقیاس بزرگ عملیاتی است در نتیجه ما مجبوریم که فقط تخمین‌های مهندسی را در این زمینه ارایه کنیم. با توجه به اصول مهندسی، دانشمندان هزینه عملیاتی بین ۵۰ تا ۱۰۰ دلار را برای هر تن دی‌اکسید کربن در حال حاضر پیش‌بینی می‌کنند که برای تجاری سازی مطلوب نمی‌باشد (۳۱). لذا با پیشرفت تکنولوژی

روزولت^۱ و کواینز^۲ و تعدادی محدود در بریتانیا موجود است. هزینه‌ها با این روش بالا است اما انتظار می‌رود در آینده‌ای نه چندان دور هزینه‌ها با پیشرفت‌های صورت گرفته کاهش یابد.

- استحصال کربن و ذخیره آن (CCS)

استحصال کربن و ذخیره آن (CCS) شکل پاک‌تری از انرژی به شمار نمی‌رود اما روشی است که باعث پاک‌تر شدن انرژی کثیف می‌شود. این سیستم روشی جهت دسترسی به زغال‌سنگ پاکیزه‌تر می‌باشد. البته زغال‌سنگ پاکیزه یک مفهوم بحث برانگیز است و به شدت مورد حمایت صنعت زغال‌سنگ بوده اما توسط گروه‌های حامی محیط زیست به عنوان لکه ننگی تلقی می‌گردد (۳۱).

یکی از دلایل این انتقادات، نبودن روش عملیاتی و ثانیاً در صورت وجود روش عملیاتی، زغال‌سنگ پاک باعث مطرح شدن نظرات ضد و نقیض می‌گردد و این امر به دلیل اثر زیست محیطی تولید زغال سنگ و انتقال آن می‌باشد. البته مزیت‌هایی نیز برای این روش وجود دارد اما هدف ما در این قسمت طرح مباحث اقتصادی مربوط به CCS به عنوان یک روش ممکن به سمت انرژی عاری از کربن با هزینه‌های رقابت‌پذیر می‌باشد. به دلیل رقابت‌پذیر بودن این روش با روشهای تأمین انرژی از انواع تجدیدپذیر در بررسی انرژی‌های نو می‌بایست مباحث مربوط به CCS مورد ارزیابی و مطالعه قرار گیرد. روشهای مختلفی برای پیشگیری از انتشار دی‌اکسید کربن در نیروگاه‌های زغال‌سنگ وجود دارد. یکی از این روش‌ها سترون‌سازی (تمیز کردن) آن با استفاده از گازهای خروجی با به‌کارگیری تکنولوژی مشابه حذف دی‌اکسید گوگرد می‌باشد. گازهای خروجی از پایین وارد شده و آب از بالا به همراه بی‌کربنات آمونیوم سقوط می‌کند و دی‌اکسید کربن با کربنات آمونیوم واکنش داده تا بی‌کربنات آمونیوم شکل گیرد و از گاز خروجی، حذف گردد. سپس بی‌کربنات حرارت داده شده و دی‌اکسید کربن آزاد می‌گردد که پس از آن عملیات مایع سازی صورت گرفته و عموماً زیرزمین ذخیره می‌گردد.

1 - Roosevelt Island

2 - Queens

است را تنها در ۱ درصد زمین‌های زراعی خود به دست می‌آورد.

دیزل زیستی با فرآیند ساده‌ای از روغن‌های سبزیجات استخراج می‌گردد و گزینه کاملی برای دیزل‌های فعلی است که مشکلات خاص خود را دارد. در مقایسه با دیزل‌های فعلی آلوده‌کنندگی کمتری داشته و میزان کربن منتشر شده آن طبیعی می‌باشد. البته برای تأمین مواد اولیه طرح، نیاز به زمین کافی می‌باشد. برای استفاده از دیزل زیستی در مقیاس بزرگ نیاز به فناوری‌های نوین مثل استفاده از مزارع جلبکی می‌باشد. گونه‌های خاصی از جلبک قادر به حذف دی اکسید کربن از هوا و تولید زیست توده می‌باشد که بعد می‌توان از این زیست توده روغن دیزل استخراج نمود و در اتومبیل از آن استفاده نمود. در حال حاضر این روش به جهت هزینه‌های بالا قابلیت تجاری سازی ندارد اما سرمایه‌گذاری‌های زیادی در این خصوص صورت پذیرفته است.

- پیل های سوختی بیولوژیکی

در سالهای اخیر استفاده از سوخت‌های فسیلی مخصوصاً نفت و گاز، شتاب گرفته و این موضوع بحران جهانی انرژی را به دنبال خواهد داشت. انرژی‌های زیستی تجدید پذیر به عنوان یکی از راهکارهایی تقریباً نوین جهت کم کردن بحران جهانی گرم شدن کره زمین و تأمین انرژی آینده مطرح می‌باشد. در سال‌های اخیر استفاده از فناوری پیل سوختی میکروبی (MFC) که در آن انرژی ذخیره شده در پیوندهای شیمیایی ترکیبات آلی از طریق واکنش‌های کاتالیستی توسط میکروارگانیسم‌ها به انرژی الکتریکی تبدیل شده به عنوان یکی از راه کارهای حل این مشکل مطرح شده است. میکروپیل‌های موجود در محفظه آند یک MFC، پیش ماده اضافه شده به سیستم را اکسید کرده و تولید الکترون و پروتون می‌کند. دی‌اکسید کربن به عنوان محصول اکسیداسیون تولید می‌گردد. به هر حال انتشار دی اکسید کربن در حد اساسی و زیاد نمی‌باشد زیرا دی‌اکسید کربن موجود در بیومس (زیست توده) تجدیدپذیر در اصل از فرآیند فتوسنتزی که در جو صورت می‌گیرد نشأت گرفته است در نتیجه مشکل ساز نبوده و در حد

انتظار می‌رود این میزان به حدود ۳۰ تا ۶۰ دلار به ازای هر تن دی اکسید کربن برسد.

استحصال هوا نوع دیگری از CCS است. در اینجا به جای استخراج دی اکسید کربن از گاز خروجی نیروگاه‌های برق، دی اکسید کربن مستقیم از اتمسفر (جو) تأمین می‌گردد. Sachs & Lackner بیان کردند اگر بتوان دی‌اکسید کربن را با هزینه مناسب از هوا به دست آورد، این کار مقرون به صرفه خواهد بود. در حال حاضر نوع اولیه و ابتدایی روش استحصال هوا به صورت کاربردی وجود دارد که در آن هزینه حذف دی اکسید کربن از هوا حدود ۲۰۰ دلار در هر تن می‌باشد اما امید می‌رود با پیشرفت تکنولوژی و استفاده در مقیاس وسیع، هزینه‌ها به ۵۰ تا ۱۰۰ دلار در هر تن دی اکسید کربن کاهش یابد.

- سوخت‌های زیستی

سوخت‌های زیستی به عنوان منابع توان الکتریکی به شمار نمی‌آیند اما جای‌گزینی برای سوخت‌های جت، دیزل و بنزین می‌باشند. البته لازم به ذکر است که تجربه آمریکایی‌ها در این زمینه نامطلوب بوده است. اتانول‌های زیستی بر پایه ذرت به جای اینکه منبع تأمین مناسب برق باشند، در واقع بیشتر مصرف کننده یارانه‌های کشاورزی بوده است (۳۲). اما در برزیل این مسئله متفاوت است. در این کشور اتانول زیستی مصرفی بر پایه شکر، نصف سوخت‌های فسیلی مصرفی مثل بنزین در این کشور است.

شکر ماده اولیه مؤثرتری بوده و اتانول تهیه شده با آن قابل رقابت با بنزین در محدوده‌های قیمتی بین ۵۰ تا ۶۰ دلار در هر بشکه خواهد بود و در کنار آن به لحاظ زیست محیطی سالم بوده و تولید کننده آلوده‌کننده‌های مختلف نمی‌باشد. در کنار برزیل کشورهایی چون هندوستان و جمهوری خلق چین نیز اقدام به تولید اتانول زیستی بر پایه شکر نموده‌اند. البته مکان جغرافیایی و زمین این طرح بسیار مهم است. مثلاً در جنوب شرق برزیل و دور از آمازون آب و هوا برای رشد و تأمین شکر مطلوب نیست. البته برزیل در این زمینه مشکلی ندارد و کل اتانول زیستی را که معادل نصف مصرف بنزین در این کشور

طبیعی است. تلاشهای گسترده‌ای جهت جایگزین ساختن روشهای تولید الکتروسیسته در حال انجام می‌باشد. تولید الکتروسیسته از منابع تجدیدشونده بدون انتشار دی اکسیدکربن اساسی و بسیار، مدنظر می‌باشد (۲۵ و ۲۶). برای نمونه هم اکنون نیز در داخل کشور در خصوص تولید توان الکتریکی تحقیقات نوینی انجام پذیرفته است. البته در آینده ای نزدیک با ادامه تحقیقات در این زمینه قطعاً با توجه به ورود نمونه های نیمه صنعتی این نوع از دستگاه به بازار، شاهد به کارگیری بیشتر آن در صنایع مولد انرژی در کشور های مختلف خواهیم بود و چشم انداز آن کاملاً روشن می‌باشد که در این زمینه کشور های امریکا، چین، استرالیا، کره جنوبی پیشرو بوده و تحقیقات گسترده‌ای را انجام داده که برای مثال یک نمونه دو کیلوواتی از آن در استرالیا ساخته شده است. پر واضح است که نمونه‌های دیگری نیز در خصوص پیشرفت‌های حاصل در این بخش موجود بوده اما با توجه به محدودیت های نگارشی از آوردن آنها خودداری نمودیم.

بحث و نتیجه گیری

حال به بررسی سؤالی می‌پردازیم که در ابتدا مطرح کردیم. آیا قادریم از منابع تجدید پذیر در مقیاس بزرگ با قیمت مناسب برق تولید نماییم؟ برق هیدروترمال ارزان، در دسترس و سازگار با محیط زیست می‌باشد. با توجه به قیمت‌های فعلی سودمند بوده و می‌بایست هر کجا که امکان دارد مورد استفاده قرار گیرد اما عیب این روش همان مسئله ساختارهای زمین‌شناسی می‌باشد. روش تبادل زمینی باعث خنک کردن و گرم کردن ساختمان‌ها به صورت سازگار با محیط زیست می‌گردد و با توجه به قیمت‌های فعلی جذاب به نظر می‌رسد. البته به صورت محدود به کار می‌رود که علت آن عدم استقبال بازار به لحاظ مباحث مرتبط با بازدهی انرژی این روش می‌باشد (۳۶-۳۳) سیستم ژئوترمال پیشرفته ممکن است تا سال ۲۰۵۰ در مقیاس بزرگ قابل رقابت با روشهای دیگر به لحاظ هزینه باشد اما برای مصارف فعلی کاربرد آن دور از ذهن است. انرژی باد قابل رقابت است به شرط آنکه مقادیر قوی و منظمی از بادها در نزدیکی مراکز جمعیتی موجود باشد. البته در صورت

احتساب هزینه‌های ناشی از انتشار دی اکسیدکربن، رقابت پذیرتر نیز می‌گردد. بادهای دور از ساحل اگر به صورت پیوسته و منظم در نزدیکی مراکز جمعیتی بوزند می‌توانند جذاب باشند. فوتولتائیک خورشیدی گران بوده و فعلاً قابلیت رقابت پذیری ندارد. هر چند قابلیت رقابت پذیری آن می‌تواند تا سال ۲۰۲۰، طبق نظر دانشمندان تا حدودی محقق گردد. البته با این نگاه روش حرارت خورشیدی در حوزه رقابت پذیری با فوتولتائیک خورشیدی (بدون احتساب هزینه‌های انتشار دی اکسید کربن) و با توجه به قابلیت ذخیره سازی انرژی در این روش، مؤثرتر به نظر می‌رسد. زمانی که هزینه‌های دفن زباله بالا باشد روش تبدیل ضایعات به انرژی می‌تواند قابل رقابت باشد. اما بازارهای آن محدود می‌باشد. لذا در حال حاضر تنها روش‌های ژئوترمال (زمین گرمایی)، باد و حرارت خورشیدی قابلیت رقابت پذیری با سوخت‌های فسیلی را در شرایط متعادل قیمت نفت دارا می‌باشند که البته گزینه اول به واسطه مسایل زمین شناختی و دومی و سومی به جهت عدم پیوستگی دارای محدودیت می‌باشند. فارغ از منابع تجدید پذیر، سایر منابع مثل CCS و انرژی هسته‌ای راضی کننده می‌باشند. در حال حاضر ۲۰ درصد انرژی کل امریکا از انرژی هسته‌ای تأمین می‌گردد اما با توجه به فجایی چون مرکز هسته‌ای چرنوبیل این مسئله چالش‌های اجتماعی و سیاسی را به دنبال دارد. خوانندگان محترم می‌توانند جهت بهره گیری مفصل تر و بیشتر به مقاله Heal و Kunreather در سال ۲۰۰۹ با عنوان خطرات انرژی هسته‌ای مراجعه نمایند (۳۷). به لحاظ اقتصادی نیز این منابع پرهزینه بوده و تلفات در تأسیسات آن زیاد به چشم می‌خورد. البته روش‌های نوین متعددی در حال حاضر موجود و در حال تحقیق و بررسی می‌باشد اما به دلیل اینکه هیچ یک از آنها به مقیاس تجاری نرسیده‌اند لذا تخمین هزینه‌های آن ممکن نیست. یکی از این روشها استفاده از فناوری پیل سوختی بیولوژیکی است که هنوز در ابتدای راه به سر برده و یک فناوری نسبتاً جدید و در حال توسعه به شمار می‌آید.

مباحث اقتصادی روش CCS مبهم می‌باشد و علت آن نیز به دلیل وجود تنها یک واحد عملکردی و آن نیز در

- Special Issue on the Economics of Exhaustible Resources, 1973, 3-28.
6. Nordhaus, William. 1973. The Allocation of Energy Resources, Brookings Papers on Economic Activity Vol 4 Issues 1973-3, pp 529-576.
 7. Boulding, Kenneth E., 1966. The Economics of the Coming Spaceship Earth, in Radical Political Economy: Explorations in Alternative Economic Analysis, ed. Victor D. Lippit, available at www.geocities.com/RainForest/3621/BOULDING.htm
 8. D'Arge, Ralph. K.C. Kogiku., 1973. Economic Growth and the Environment Review of Economic Studies. Vol. 40 No. 1, 61-77.
 9. Stern, Nicholas. 2006. The Economics of Climate Change: The Stern Review, London, H.M. Treasury.
 10. Nordhaus, William. 2009. A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming. Yale University Press.
 11. Hope, Christopher. David Newberry., 2007. Calculating the Social Cost of Carbon, Cambridge DSpace report CWPE0749 & EPRG0720. Available at <http://www.dspace.cam.ac.uk/handle/1810/194738>
 12. Strand, Jon 920080. Energy Efficiency and Renewable Energy Supply for the G-7 Countries, with Emphasis on Germany (January 2008). IMF Working Papers, Vol., pp. 1-35, 2008. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1087178>
 13. Parry, Ian., 2001. Are Gasoline Taxes in Britain Too High? Resources for the Future Working Paper April 2001.
 14. Parry, Ian., Kenneth, Small., 2005. Does Britain or the United States have the right gasoline tax? American Economic Review 2005 Vol. 95 No. 4
 15. Krupnick Alan J., Dallas Burtraw, 1996. The Social Costs of Electricity: Do The Numbers Add Up? RFF Discussion Paper, 96-30.
 16. Rifiin, J., 2002. The Hydrogen Economy. Tarched Putnam. New York.
 17. Graham, D.J., Glaister, S., 2002. The Demand for Automobile Fuel: A Survey of مقیاس بسیار کوچک در امریکا می باشد. لذا تخمین هزینه ها مشکل می باشد. البته پیش بینی می گردد در عرض ۲۰ سال، با حذف هزینه های انتشار دی اکسید کربن، CCS قابل رقابت با سایر رقبا باشد. استحصال هوایی دی اکسید کربن هم روشی است که جذاب بوده و امکان ادامه استفاده از سوخت های فسیلی را به ما می دهد اما با توجه به قیمت بالای نفت و امنیت انرژی در آینده تکیه به این روش راه حل مناسب در دراز مدت نمی باشد. البته استحصال هوایی با محدوده قیمت ۳۰ تا ۵۰ دلار در هر تن به طور اساسی چشم انداز انرژی را دگرگون خواهد کرد. لازم به ذکر است که این داده ها به بررسی روش های موجود تا قبل از بحران اقتصادی جهان و همچنین طرح هدفمندی اقتصادی در ایران انجام پذیرفته است. بدیهی است با توجه به نوسانات قیمتی و عدم ثبات قیمت حامل های انرژی امکان بررسی دقیق مباحث مربوط انجام پذیر نبوده لذا با توجه به مباحث عنوان شده لزوم توجه به انرژی های تجدید پذیر بیش از پیش بسیار ضروری به نظر می رسد.

منابع

1. Lewis, N.S., Nocera, D.G., 2006. Powering the planet: chemical challenges in solar energy utilization. PNAS. 103(43), pp.15729-15735.
2. Massachusetts Institute of Technology, 2006. Future of Geothermal Energy: Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century. Available at <http://geothermal.inel.gov>.
3. Levin, D.B., Pitt, L., Love, M., 2004. Biohydrogen production: prospects and limitations to practical applications. Int. J. Hydrogen. Energy. 29, pp.173-185.
4. www.origin-www.glgrou.com/News/An-Update-on-Costs-for-New-Coal-Power-Plants-9783.html.
5. Dasgupta, Partha. Geoffrey, Heal. 1973. The optimal depletion of exhaustible resources, Review of Economic Studies,

30. Anderson, D., 2006. Costs and finance of abating carbon emissions in the energy sector. Background report for the Stern Review., London, Imperial College.
31. IPCC Report on Carbon Capture and Storage, available at www.ipcc.ch.
32. Hahn, R.W., Cecot, C., 2008. The Benefits and Costs of Ethanol: An Evaluation of the Government's Analysis. AEI-Brookings Joint Center. Working Paper No. 07-17, Journal of Regulatory Economics, Forthcoming. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1027692>, (2008).
33. Brown, M., 2001. Market failures and barriers as a basis for clean energy policy. Energy Policy. 29, pp.1197-1207.
34. Hausman, J., 1979. Individual Discount Rates and the Purchase and Utilization of Energy-Using Durables. the Bell Journal of Economics. 10(1), pp.33-54.
35. Jaffe, A.B., Newell, R.B., Stavins, R.N., 1999. Energy-Efficient Technologies and Climate Change Policies. KSG Working Paper, available at http://papers.ssrn.com/paper.taf?abstract_id=198829.
36. Levine, M.D., Koomey, J.G., MacMahon, J.E., Alan, H.S., 1995. Energy Efficiency Policy and Market Failure. Annual Review of Energy and the Environment. 20, pp.535-555.
37. Geoffrey, Heal, Kunreuther, Howard. 2009. Environment and Energy: Catastrophic Liabilities, Working Paper, Wharton Risk Center, forthcoming in Deborah Lucas (ed) Liabilities of the Federal Government, NBER Press, 2009.
- Elasticities. Journal of Economics and Policy. 36(1), pp.1-25.
18. www.awea.org/faq/wwt_potential.html
19. Barradale, M.J., 2008. Impact of Policy Uncertainty on Renewable Energy Investment: Wind Power and PTC, USAEE Working Paper. No. 08-003, Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=108503>, (2008).
20. www.apps1.eere.energy.gov/news/archive.cfm/pubDate=%7Bd%20%272006-07-06%27%7D?printfull.
21. www.ercot.com/news/press_releases/2008/nr04-02-08.
22. www.eere.energy.gov/geothermal/geothermal_basics.html.
23. www.whitehouse.gov/agenda/energy_and_environment.
24. Denholm, P., Margolis, R., 2006. Very Large Scale Deployment of Grid-Connected Solar Photo-Voltaics in the United States: Challenges and Opportunities. NREL Conference Paper, CP-620-39683.
25. MacKay, D., 2009. Sustainable Energy-Without the Hot Air. Available at www.withouthotair.com.
26. www.bp.com.
27. Sweeney, J.L., 1984. The response of energy demand to higher prices: What have we learned?. The American Economic Review. jstor.org.
28. Lovely, D.R., 2006. Microbial fuel cells: novel microbial physiologies and engineering approaches. Curr. Opin. Biotech. 17, PP.327-332.
29. Lackner, K., Sachs, J., 2005. A robust strategy for sustainable energy. Brookings Papers on Economic Activity. 2, pp.215-269.