محاسبه هزینه تمام‌شده تولید برق از منابع مختلف با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی

خلیل کاظمی [۱]، غلامعلی رحیمی [۲] و آرزو باقرزاده [۳]

چکیده

تولید الکتریسیته از انواع سوخت‌های فسیلی با هزینه‌های پنهان بسیار و در خورتوجّهی همراه می‌باشد. لحاظ نمودن این هزینه‌ها در هزینه واقعی تولید الکتریسیته، بسیاری از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر را در شرایط رقابتی با سوخت‌های فسیلی جهت تولید برق قرار می‌دهد و انتظار می‌رود که برخی از این منابع تجدیدپذیر را از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر نمایند. از جمله این هزینه‌های پنهان، یارانه‌های اعطایی به مصرف مستقیم و تولید برق از سوخت‌های فسیلی، هزینه‌های اجتماعی و نیز، هزینه‌های مربوط به انواع آلودگی‌های زیست‌محیطی و کنترل این آلودگی‌ها، با استفاده از تجهیزات نصب شده برای امحاء آنها در هنگام تولید و حتّی، تجهیزاتی که این آلاینده‌ها را تبدیل به محصولات مفیدی می‌نمایند و... را می‌توان نام برد. در این تحقیق، از میان این هزینه‌های پنهان، فقط هزینه‌های زیست‌محیطی مربوط به انتشار آلاینده‌های هوا مد نظر قرار گرفته است و با لحاظ

۱. کارشناس ارشد دفتر برنامه ریزی انرژی، معاونت امور انرژی، وزارت نیرو kazemikh@yahoo.com

۲. کارشناس ارشد و عضو هیئت علمی موسسه مطالعات بین المللی انرژی، وزارت نفت A-rahimi@iies.net

۳. کارشناس ارشد موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی azar_1810@yahoo.com

هزینه‌های مذکور در هزینه کل تولید برق از انواع سوخت‌های فسیلی و منابع انرژی تجدیدپذیر، هزینه تمام‌شده تولید برق محاسبه و مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که تولید برق از اکثر انرژی‌های تجدیدپذیر در مقایسه با سوخت‌های فسیلی، قابل رقابت بوده و دارای توجیه اقتصادی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سوخت‌های فسیلی، انرژی‌های تجدیدپذیر، نیروگاه برق، آلودگی زیست محیطی، هزینه‌های اجتماعی، NO_x، SO_x، دی‌اکسید کربن.

مقدمه

انرژی برای سال‌های متمادی، توجه بسیاری از برنامه‌ریزان و سیاستگزاران را به‌خود معطوف نموده است؛ به‌طوری‌که، توسعه و پیشرفت بسیاری از جوامع حاضر، به‌ویژه کشورهای در حال توسعه، به میزان قابل توجهی متأثر از آن خواهد بود. در این راستا، اتمام قریب‌الوقوع منابع فسیلی و پیش‌بینی افزایش قیمت‌ها، بیش از پیش بر اهمیت و لزوم جایگزینی سیستم انرژی فعلی تأکید دارد.

تقاضای جهانی انرژی در حال حاضر(۲۰۰۲) معادل mtoe [۱] ۱۰۳۴۵ است و پیش‌بینی می‌شود طی دو دهه آتی با نرخ رشد متوسط ۱/۸۳ درصد در سال به mtoe ۱۶۴۸۷ در سال ۲۰۳۰ افزایش یابد. این امر، به‌معنی افزایش ۶۰ درصدی مصرف انرژی پایه، معادل mtoe ۶۱۴۲ نسبت به سطح مصرف کنونی ظرف ۲۸ سال آینده است. در طی دوره مذکور، قطعاً شاهد ظهور منابع نوین انرژی و تکنولوژی‌های پیشرفته انرژی خواهیم بود (جدول ۱).

در حال حاضر، حدود ۸۰ درصد کل انرژی مصرفی در جهان را سوخت‌های فسیلی تشکیل می‌دهند. چون این منابع در کره خاکی به‌وفور یافت می‌شوند، استفاده از آنها نیز ساده و آسان است. در پالایشگاه‌های مدرن و پیشرفته، از نفت‌خام محصولاتی بنیادی به دست می‌آید که در یک تنوع کلی شامل تولید مواد زیر می‌باشد: بنزین، نفت‌های مختلف، سوخت جت، روغن‌های روان، قیر، پارافین جامد، گاز تقطیری، نفتالین و غیره اهمیت محصولات فوق هر یک به تنهایی مشخص‌کننده ارزش این منابع می‌باشد و استفاده از این ثروت را برای تولید حرارت جهت راه‌اندازی توربین‌های بخار تولیدکننده انرژی الکتریکی عاقلانه و اقتصادی نمی‌داند. از سوی دیگر، فنآوری مشتقات نفتی در اوج

۱. میلیون تن معادل نفت‌خام.

پیشرفت قرار دارد که متاسفانه مشکل جهانی آلودگی محیط زیست را بلای عظیم زندگی سالم کرده است و بدتر از آن، دارندگان صنایع و کشورهای پیشرفته که بیشترین سودها را نصیب خود کرده‌اند و در آلودگی محیط زیست و نابودی حیات در کره زمین بزرگ‌ترین سهم را دارند، در تامین مالی برنامه‌های اجرایی زیست محیطی نیز تعلل می‌کنند.

جدول ۱. تقاضای جهانی انرژی در دوره ۲۰۳۰-۲۰۰۰

(میلیون تن معادل نفت خام)

سال / نوع انرژی	۲۰۰۲	۲۰۱۰	۲۰۲۰	۲۰۳۰
نفت	۳۶۷۶	۴۳۰۸	۵۰۷۴	۵۷۶۶
گاز طبیعی	۲۱۹۰	۲۷۰۳	۳۴۵۱	۴۱۳۰
زغال سنگ	۲۳۸۹	۲۷۶۳	۳۱۹۳	۳۶۰۱
تجدیدپذیر	۱۳۹۸	۱۶۴۱	۱۹۱۱	۲۲۲۶
هسته‌ای	۶۹۲	۷۷۸	۷۷۶	۷۶۴
کل انرژی	۱۰۳۴۵	۱۲۱۹۴	۱۴۴۰۴	۱۶۴۸۷

مآخذ: گزارش IEA (World Energy Outlook 2004)

بایستی متذکر شد، مصرف گسترده سوخت‌های فسیلی، علی‌رغم فراهم نمودن بستر مناسب برای رشد سریع اقتصادی جوامع مدرن صنعتی، با نشر آلاینده‌های احتراق و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در اتمسفر، جهان را با تغییرات جبران‌ناپذیر و تهدیدآمیزی همچون افزایش دمای کره زمین، تغییرات آب و هوایی، بالا آمدن سطح آب دریاها مواجه ساخته است. لذا محدودیت منابع انرژی فسیلی نظیر نفت، زغال‌سنگ، و گاز طبیعی و آلایندگی ناشی از به‌کارگیری آنها در کنار ضرورت تنوع بخشی به منابع انرژی، سبب برنامه‌ریزی بشر جهت بهره‌برداری از منابع انرژی جایگزین شده است. فارغ از انرژی هسته‌ای که دارای تکنولوژی پیچیده و مشکلات زیست‌محیطی خاص خود می‌باشد، منابع انرژی نظیر باد، خورشیدی، زمین گرمایی و بیوماس به عنوان منابع انرژی تجدیدپذیر و هیدروژن به عنوان حامل انرژی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند.

مطابق آخرین آمارها، هزینه‌های اجتماعی- اقتصادی نیروگاه‌های تولید برق در ایران، در اثر مصرف سوخت‌های فسیلی برای دی‌اکسید کربن، دی‌اکسید گوگرد و اکسیدهای ازت، بالغ بر ۷۵۰ میلیارد تومان بوده است. همچنین، هزینه‌های اجتماعی -

زیست‌محیطی سایر بخش‌های انرژی کشور در اثر مصرف سوخت‌های فسیلی بالغ بر ۳۸۰۰ میلیارد تومان می‌گردد.[۱] باید توجه داشت که هزینه‌های یاد شده، فقط برای تولید گازها و آلاینده‌های فوق محاسبه شده است؛ اما در عمل، صدمات زیست‌محیطی منابع متعارف تولید انرژی بسیار فراتر خواهد رفت.

در این مطالعه هزینه‌های واحد تولید الکتریسیته از منابع مختلف انرژی (سوخت‌های فسیلی و منابع انرژی تجدیدپذیر) مورد محاسبه و بررسی قرار گرفته و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. اجزای هزینه‌های تولید شامل موارد زیر می‌شود:

۱. هزینه سوخت نیروگاه‌ها؛
۲. سرمایه‌گذاری و هزینه استهلاک سرمایه؛
۳. هزینه تعمیر و نگهداری و پرسنلی؛
۴. هزینه‌های اجتماعی تولید برق.

موارد مذکور در قسمت‌های بعدی به‌دقت مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۲. بررسی ادبیات موضوع و سابقه انجام مطالعه

گرایش جهانی در توجه به‌بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر و پیآمدهای زیست‌محیطی ایجاب نموده که سازمان‌ها و مراکز متعددی در ایران، علاقه‌مند به اجرای پروژه‌هایی در این زمینه باشند. هرچند، این‌گونه فعالیت‌ها لازم و مؤثر می‌باشند؛ ولی آیا این اقدامات طبق برنامه‌ریزی و تحقیقات اصولی در سطح ملی انجام می‌گیرند یا این‌که، انفعالی و بصورت پراکنده، برمبنای تعریفی مستقل و سلیقه‌ای اجرا می‌شوند. بدین ترتیب است که هنوز بسیاری از چالش‌ها و سئوال‌ها در توجیه و دفاع از توسعه بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران، بدون جواب مانده‌اند. بدیهی است که این‌گونه روند توسعه، بدون برنامه جامع و مدون، صحیح و پایدار نخواهد بود. تدوین یک استراتژی جامع جهت بهره‌وری بهتر از انرژی در کشور، مستلزم شناخت کامل وضعیت کنونی و تعیین دقیق وضعیت مطلوب آن در جمیع جهات می‌باشد.

انتظار می‌رود با توسعه بهره‌برداری از انرژی‌های پاک در کشور، طبق نتایج ارائه شده در این مطالعه و برمبنای استراتژی و برنامه‌ای مدون بتوان بسیاری از چالش‌ها را شناسایی و راهکارهای مناسب را انتخاب و تبیین نمود. خوشبختانه، در زمینه هرکدام از انواع این انرژی‌ها و ارتباطات متقابل آنها با زیست محیط، به‌ویژه در دهه‌های اخیر،

۱. ترازنامه انرژی ۱۳۷۸ کل کشور، تهران: وزارت نیرو ـ معاونت امور انرژی، ۱۳۷۹.

توجهات بسیاری مبذول گشته است که در اینجا، در حد بضاعت و جایگاه موضوع حاضر، به ترکیبی از این تحقیقات اشاره خواهد شد.

۱. مطالعات داخلی

الف. آقای بابک یوسف‌پور در مطالعه‌ای تحت عنوان «برآورد تقاضای انرژی الکتریکی در کشور تا سال ۱۴۰۹» [۱] برای تعیین سهم بهینه نیروگاه‌های اتمی در ظرفیت نصب شده مورد نیاز کشور در دهه‌های آینده از مدل WASP که مشهورترین و کاربردی‌ترین مدل بهینه‌سازی سیستم انرژی الکتریکی جهان می‌باشد استفاده نموده است. نتایج این مدل نشان می‌دهد که تا سال ۱۴۰۹ در سناریوی مرجع (رشد ۶ درصدی اقتصاد)، حداکثر نیاز مصرف (پیک بار) معادل ۵۸۶۵۶ مگاوات برآورد شده که با فرض ذخیره ۲۵ درصدی روی بار (معادل ۲۰ درصد دبی تولید) کل ظرفیت احداثی مورد نیاز ۷۹۱۸۵ مگاوات خواهد بود. ترکیب بهینه آرایش نیروگاهی در سال مزبور در برنامه WASP برای این سناریو به شرح ذیل خواهد بود:

ظرفیت بهینه مورد نیاز برق آبی	۸۸۰۰ مگاوات	۱۱/۱ درصد از شبکه
ظرفیت بهینه مورد نیاز نیروگاه‌های گازی و سیکل ترکیبی	۴۱۲۱۳ مگاوات	۵۲ درصد از شبکه
ظرفیت بهینه مورد نیاز بخاری	۲۲۱۷۲ مگاوات	۲۸ درصد از شبکه
ظرفیت نیروگاه‌های هسته ای	۷۰۰۰	۸/۸ درصد از شبکه

لذا بر اساس سناریوی رشد ۶ درصدی اقتصادی علاوه بر واحد اول نیروگاه بوشهر، ۷ نیروگاه ۱۰۰۰ مگاواتی دیگر نیز بایستی نصب و وارد شبکه گردند.

ب. در مطالعه دیگری تحت عنوان «بهینه‌سازی سیستم عرضه برق ایران» [۲] که توسط آقایان بابک یوسف پور، ناصریان و سپندلو با استفاده از مدل MESSAGE در سازمان انرژی اتمی صورت پذیرفته است، کل نیروگاه‌های موجود در شبکه عرضه برق کشور اعم از گازی، سیکل ترکیبی و ... مورد بررسی قرار گرفته و سهم هر یک از آنها در تامین عرضه برق مورد نیاز کشور، در سه سناریوی مجزا، در افق ۲۰۳۰ مشخص شده است. این

۱. یوسف‌پور، بابک؛ گروه انرژی محیط زیست و توسعه پایدار، موسسه مطالعات بین المللی انرژی ـ وزارت نفت، ۱۳۸۴.

۲. یوسف‌پور، ناصریان و سپندلو، سازمان انرژی اتمی ایران، ۱۳۸۳.

سناریوها عبارتند از:

۱. قطع سوبسید اهدایی دولت به بخش برق به‌طور کامل از سال پایه مطالعه؛

۲. قطع سوبسید اهدایی دولت به بخش برق به‌صورت تدریجی و پله‌ای طی سال‌های مطالعه؛

۳. ادامه روند موجود (پرداخت سوبسید توسط دولت به بخش برق طبق روال گذشته).

بر اساس نتایج این مطالعه میزان عرضه برق از نیروگاه‌های گازی، سیکل ترکیبی و هسته‌ای طی دوره مورد مطالعه افزایش یافته و برخی از ظرفیت‌های نیروگاهی موجود از رده خارج خواهندشد. سهم نیروگاه‌های هسته‌ای در تامین عرضه برق موردنیاز در سال‌های آتی، در سناریوی اول بیشتر از سایر سناریوها خواهد بود.

ج. در مقاله «محیط زیست و جهانی شدن سیاست‌های انرژی»، آقای مجید جمیل (۱۳۷۳)[۱]، چند طرح اساسی در جهت استفاده از انرژی‌های طبیعی و تجدید شونده ارائه کرده و بر اعمال سیاست‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی، توجه به بهبود بازدهی سیستم‌های تبدیل انرژی و به‌کارگیری انرژی‌های جایگزین صریحا تأکید نموده است.

د. مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی (۱۳۷۴)[۲]، در مجموعه مدونی تحت عنوان «پتانسیل‌های جایگزینی حامل‌های انرژی با تأکید بر تجربه‌های جهانی و جنبه‌های فنی-اقتصادی»، مسائل مبتلابه بخش انرژی‌های فسیلی و ضرورت پرداختن به منابع جدید انرژی جهت جایگزینی در بخش حامل‌های انرژی را مورد کنکاش قرار داده و با توجه به این موارد، به تبعات این اقدامات از منظر فنی و اقتصادی و زیست‌محیطی می‌پردازد.

هـ . آقای محمدرضا صردی (۱۳۷۴)، در پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد خود[۳] تحت عنوان «بررسی تأثیرات بلندمدّت سیاست‌های حفاظت از محیط‌زیست بر توسعه نیروگاه‌های هسته‌ای در جهان»، با استفاده از یک مدل عرضه انرژی به‌نام Message III، که در زمره مدل‌های برنامه‌ریزی خطی پویا محسوب می‌شود، به ارزیابی بلندمدت تحولات تکنولوژیکی و به‌ویژه، جایگاه انرژی هسته‌ای در سیستم عرضه انرژی جهانی در

---

۱. مجید جمیل؛ «محیط زیست و جهانی شدن سیاست‌های انرژی»، مجله جام، سال چهارم، شماره ۳۴، ۱۳۷۳، صص ۲۷-۲۰.

۲. «پتانسیل‌های جایگزینی حامل‌های انرژی با تأکید بر تجربه‌های جهانی و جنبه‌های فنی-اقتصادی»، تهران: مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، ۱۳۷۴.

۳. محمدرضا صردی؛ بررسی تاثیرات بلندمدت سیاست‌های حفاظت از محیط زیست بر توسعه نیروگاه‌های هسته‌ای در جهان، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی مکانیک، با راهنمایی یدالله سبوحی، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۴.

قرن آینده، با لحاظ نمودن قیود زیست‌محیطی پرداخته شده است. طراحی سناریوهای مدل برمبنای دو حالت؛ عدم محدودیت انتشار کربن و اعمال قید بر میزان انتشار آن تنظیم گردیده است. در حالت اخیر، مالیاتی حدود ۳ تا ۹ دلار بر هر تن کربن، در مناطق مختلف دنیا منظور شده است. در هر دو حالت، منابع قابل استحصال نفت‌خام، از حدود سال ۲۰۲۰ به بعد پایان می‌پذیرد. روند مشابهی در هر دو سناریو، از سال ۲۰۴۰ برای منابع گاز قابل ملاحظه است. به‌همین دلیل، جایگزینی انرژی‌های فسیلی با سایر منابع انرژی، مانند انرژی هسته‌ای و منابع تجدیدپذیر صورت می‌پذیرد. اعمال مالیات بر کربن، بر ترکیب سوخت‌ها و نوع تکنولوژی‌های مورد انتخاب مؤثر بوده و در این راستا، سهم انرژی‌های هسته‌ای و تجدیدپذیر، در تأمین انرژی اوّلیه موردنیاز جهان افزایش یافته و متناظراً از سهم زغال کاسته می‌شود.

و. آقای عبدالرضا کرباسی و همکاران (۱۳۷۶)، کتابی را تحت عنوان «انرژی و محیط زیست»[۱] گردآوری و ترجمه کرده‌اند که شامل هشت فصل می‌باشد. در این کتاب، نویسندگان به‌ارتباط معضلات زیست‌محیطی و بخش انرژی کنونی، که عمدتاً سوخت‌های فسیلی را شامل می‌شوند، پرداخته و امکانات اجرایی جلوگیری از فرایند تأثیرگذاری را در ابعاد مختلف مورد بررسی قرار داده‌اند که مهم‌ترین پیشنهاد مطرح را می‌توان جایگزینی سوخت‌های فسیلی با انرژی‌های پاک قلمداد نمود

ز. آقای کامبیز پیکارجو (۱۳۷۷)[۲]، در مقاله «توسعه منابع و کاربرد انرژی‌های نوین»، سعی دارد تا با بررسی منابع و سطح پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر کشور، در سایه تشریح لزوم توجه به تولید و کاربرد این انرژی‌ها و با بررسی محاسن و مشکلات بر سر راه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، راهکارهای لازم برای کاربردی نمودن و توسعه آنها در جهت پیاده‌سازی و استقرار مفاهیم تئوری بهره‌وری سبز را در کشور ارائه نماید.

ی. آقای بهمن کرد (۱۳۷۹)، در پایان‌نامه کارشناسی ارشد[۳] خود با عنوان «نقش انرژی‌های نو در تأمین انرژی روستایی در ایران» با رویکردی جدید به مبحث انرژی‌های نو پرداخته است. این تحقیق، پس از معرفی جایگاه انرژی در ابعاد مختلف حیات سیاسی و اقتصادی کشورها، به اهمیت و پتانسیل‌های هریک از انواع انرژی‌های نو در مناطق ایران و

۱. عبدالرضا کرباسی و همکاران؛ انرژی و محیط زیست، تهران: وزارت نیرو، معاونت امور انرژی، ۱۳۷۶.
۲. کامبیز پیکارجو؛ «توسعه منابع و کاربرد انرژی‌های‌نوین»، مجله صنعت‌برق، سال‌سوم، شماره ۱۳۷۷،۲۹، صص ۱۵ـ۹.
۳. بهمن کرد؛ نقش انرژی‌های نو در تأمین انرژی روستایی در ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته علوم اقتصادی، با راهنمایی حسین صادقی، دانشگاه تربیّت مدرس، ۱۳۷۹.

توجیه‌پذیری اقتصادی و زیست‌محیطی آنها از نظر تولید الکتریسیته که حامل انرژی نهایی این نوع انرژی‌هاست، در مقایسه با سوخت‌های فسیلی تمرکز نموده است. وی، با اشاره به چالش‌های بخش انرژی ایران، به‌خصوص تأمین انرژی مناطق پراکنده و متعدد روستایی کشور و ضرورت‌های تامین انرژی پاک برای ادامه روند توسعه این مناطق، از منظر زیست‌محیطی نیز، به اهمیت به‌کارگیری این انرژی‌ها و سرمایه‌گذاری در تحقیقات مرتبط با توسعه آنها تأکید نموده است.

همچنین، پروژه‌های مطالعاتی و کاربردی بسیاری نیز در سازمان انرژی‌های نو ایران اجرا و یا در حال مطالعه می‌باشد که در اینجا، به اختصار به اهم آنها اشاره می‌گردد:

- پایلوت تکنولوژی هیدروژن خورشیدی؛
- نیروگاه خورشیدی از نوع دریافت کننده مرکزی C.R.S؛
- نیروگاه زمین گرمایی مشکین شهر- استفاده غیر مستقیم؛
- استفاده مستقیم از انرژی زمین گرمایی در ناحیه سرعین؛
- نیروگاه خورشیدی ۲۵۰ kw شیراز از نوع کلکتور سهموی خطی؛
- سیستم پمپ‌های فتوولتائیک به منظور کاربرد کشاورزی؛
- نصب و اجرای چراغ‌های خورشیدی جهت روشنایی معابر و جاده‌ها؛
- تأمین روشنایی مورد نیاز تونل‌ها توسط سیستم‌های فتوولتائیک؛
- طراحی، ساخت و نصب و تست کلکتور سهموی خطی مهرشهر کرج؛
- پتانسیل‌سنجی انرژی زمین گرمایی ایران.

۲. مطالعات خارجی

الف. شورای جهانی انرژی (۱۳۷۵)، «منابع انرژی تجدیدپذیر نوین»[1] در مناطق مختلف جهان را مورد مطالعه جدی قرار داده است. هدف از این مطالعه، یافتن جایگاهی برای منابع انرژی تجدیدپذیر نوین، در مصرف کلی انرژی جهانی و بررسی جنبه‌های زیست محیطی انرژی‌های نو در مناطق مختلف جهان می‌باشد.

ب. سورنسون و همکاران (۲۰۰۴)[2] در مقاله‌ای تحت عنوان «هیدروژن به عنوان یک

۱. منابع انرژی تجدیدپذیر نوین، شورای جهانی انرژی، ترجمه گروهی کارشناسان دفتر انرژی‌های نو، چاپ اول، تهران: چاپ اطلس، ۱۳۷۵.

2. Bent Sørensen and etal; Hydrogen as an energy carrier: scenarios for future use of hydrogen in the Danish energy system, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 29, Issue 1, January 2004, Pages 23-32.

حامل انرژی: سناریوهایی برای کاربرد آینده انرژی پاک در سیستم انرژی دانمارک»، به اهمیت انرژی هیدروژن توجه نموده است.

ج. سیمس (۲۰۰۴) از مرکز تحقیقات انرژی دانشگاه ماسی نیوزیلند [1]، در مقاله خود تحت عنوان «انرژی نو یک پاسخ به تغییرات آب و هوایی»، به لزوم جایگزینی در بخش انرژی می‌پردازد. در این مقاله، نگارنده، بر اهمیت انرژی‌های تجدیدپذیر برای دستیابی به توسعه پایدار، تنوع عرضه انرژی و حفاظت از محیط زیست تأکید ورزیده است. وی، با اطمینان از مطرح شدن مناسب این انرژی‌ها در آینده‌ای نزدیک، با حمایت و تقویت اقدامات و برنامه‌ریزی‌های ملی و نیز، ادامه تحقیقات و سرمایه‌گذاری‌های بین‌المللی در فراگیری و توسعه انرژی‌های پاک در سرتاسر جهان، موقعیت ممتازی را برای اینگونه انرژی‌ها پیش‌بینی می‌کند.

د. کروزئه و همکاران (۲۰۰۴) [2]، در مقاله‌ای با عنوان «بخش انرژی در چین و هند: پتانسیل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و سناریوهایی‌برای۲۰۲۰ـ۱۹۹۰»، فواید به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر پاک در بخش انرژی این دو کشور و تبعات آن را بررسی نموده‌اند. در این تحقیق، براین نکته تأکید شده است که انتشار گازهای گلخانه‌ای در دهه آینده در چین و هند غیرقابل اجتناب خواهد بود و در این میان، جایگزینی انرژی‌های پاک، گاز طبیعی و انرژی هسته‌ای به‌جای زغال‌سنگ در بخش انرژی این کشورها مثبت قلمداد شده است.

۳. هزینه سوخت نیروگاه‌ها

در حال حاضر، نیروگاه‌های کشور در هر سه حالت بخاری، گازی و سیکل ترکیبی، عمدتا از سوخت‌های نفت‌گاز، نفت‌کوره و گاز طبیعی استفاده می‌کنند (در مورد نیروگاه‌های گازی و سیکل ترکیبی، نفت‌کوره به‌عنوان سوخت کاربرد ندارد. همچنین، نیروگاه‌های دیزلی و بخاری با سوخت نفت گاز، در اینجا در نظر گرفته نشده است). در جدول ۲، قیمت سوخت‌های فسیلی تحویلی به نیروگاه‌های کشور در سال ۱۳۸۰ آورده شده است.

1. R. E. H. Sims; Renewable energy: a response to climate change, Solar Energy-Volume 76, Issues 1-3 , January-March 2004, Pages 9-17.
2. Carolien Kroeze and etal; The power sector in China and India: greenhouse gas emissions reduction potential and scenarios for 1990–2020, Energy Policy-Volume 32, Issue 1, January 2004, Pages 55-76.

جدول ۲. قیمت سوخت‌های تحویلی به نیروگاه‌های برق کشور در سال ۱۳۸۰

	نفت‌گاز (ریال بر لیتر)	نفت کوره (ریال بر لیتر)	گاز طبیعی (ریال بر مترمکعب)
قیمت سوخت تحویلی به نیروگاه‌ها	۴۴	۲۵/۶	۲۴/۲

مأخذ: آمار اخذ شده از سازمان توانیر، معاونت برنامه‌ریزی نیرو، دفتر تعرفه، تهران، ۱۳۸۱.

هزینه‌های سوخت مصرفی با قیمت‌های تحویلی به نیروگاه‌های تولید برق کشور، در جدول ۶ نشان داده شده است. برای محاسبه این هزینه‌ها، ابتدا بایستی میزان سوخت مصرفی در نیروگاه‌ها برای تولید یک کیلووات ساعت برق معلوم گردد که می‌توان این مقادیر را با استفاده از رابطه زیر به دست آورد:

$$Q = (۳۶۰۰ \times ۱۰۵) / [R \times F]$$

که در آن:

Q = مقدار سوخت مصرفی برای هر کیلووات ساعت برق تولیدی (برحسب لیتر یا مترمکعب)

R = راندمان (بدون درصد)

F = ارزش حرارتی سوخت برحسب ژول بر لیتر (بر مترمکعب)

جدول ۳. ارزش حرارتی سوخت‌های مصرفی برای تولید برق در نیروگاه‌های کشور

	نفت‌گاز	نفت کوره	گاز طبیعی
ارزش حرارتی سوخت	۳۸۶۲۷ kj/lit	۴۰۹۶۱ kj/lit	۳۹۹۸۲ kj/m^3

مأخذ: آمار اخذ شده از سازمان توانیر، معاونت برنامه‌ریزی نیرو، دفتر تعرفه، تهران، ۱۳۸۱.

جدول ٤. متوسط راندمان انواع نیروگاه‌های حرارتی تولید برق کشور در سال ۱۳۸۰

(درصد)

	بخاری	گازی	سیکل ترکیبی
راندمان انواع نیروگاه‌های برق	۳۸/۵	۳۳/۴	۵۰

مأخذ: آمار تفضیلی صنعت برق ایران در سال ۱۳۸۰، توانیر، معاونت برنامه‌ریزی نیرو، ۱۳۸۱.

جدول ۵. مقادیر سوخت مصرفی برای تولید یک کیلووات ساعت برق در نیروگاه‌های کشور در سال ۱۳۸۰

	نیروگاه	نفت‌گاز (لیتر)	نفت کوره (لیتر)	گاز طبیعی (مترمکعب)
مقدار سوخت مصرفی در نیروگاه‌ها برای تولید یک کیلووات ساعت برق	بخاری	۰/۲۴۲	۰/۲۲۷	۰/۲۳۴
	گازی	۰/۲۷۹	–	۰/۲۷۰
	سیکل‌ترکیبی	۰/۱۸۶	–	۰/۱۸۰

مأخذ: نتیجه محاسبات بر روی داده‌های جداول (۳) و (۴).

با استفاده از قیمت و مقادیر مصرف سوخت از جداول ۲ و ۵ می‌توان هزینه‌های سوخت مصرفی برای تولید یک کیلووات ساعت را در هر سه حالت محاسبه کرد که نتایج خلاصه شده آن، در جدول ٦ بیان گردیده است.

جدول ٦. هزینه سوخت مصرفی برای تولید یک کیلووات ساعت برق در سال ۱۳۸۰

(ریال)

	نیروگاه	نفت‌گاز	نفت کوره	گاز طبیعی
هزینه سوخت مصرفی برای تولید یک کیلووات ساعت با در نظر گرفتن قیمت تحویلی به نیروگاه‌ها	بخاری	۱۰/۶۴۸	۸/۰۸۱	۵/۶۶۳
	گازی	۱۲/۲۷۶	–	۶/۵۳۴
	سیکل‌ترکیبی	۸/۱۸۴	–	۴/۳۵۶

مأخذ: نتیجه محاسبات بر روی داده‌های جداول ۲ و ۵.

اگر بجای سوخت‌های فسیلی، از منابع انرژی تجدیدپذیر برای تولید برق استفاده شود، هزینه‌های سوخت، به جز زیست توده و پیل سوختی، برابر با صفر خواهد بود. لازم به ذکر است که به دلیل این‌که، تولید برق از این انرژی‌ها هنوز به‌طور اقتصادی در ایران انجام نمی‌گیرد (به استثنای برق‌آبی)؛ بنابراین، قیمت سوخت در این وضعیت برابر با قیمت جهانی خواهد بود.

جدول ۷. هزینه‌های سوخت برای تولید برق از منابع انرژی تجدید پذیر

(ریال بر کیلووات ساعت)

نوع انرژی تجدیدپذیر	زیست توده	پیل‌سوختی PAFC (برق)	پیل‌سوختی PAFC (حرارت)
هزینه سوخت	۲۴/۲۰۰	۴۲/۱۰۰	۳۸/۹۰۰

مأخذ: وزارت نیرو، دفتر برنامه‌ریزی انرژی، گروه عرضه انرژی، ۱۳۸۰.

۴. سرمایه‌گذاری و هزینه استهلاک سرمایه

مشخصات فن‌آوری نیروگاه‌های نمونه برق، در جداول ۸ و ۹ آورده شده است. لازم به ذکر است که در محاسبات انجام شده، نرخ سایه‌ای ارز ۸۰۰۰ ریال، نرخ تنزیل ریالی ۱۶ درصد و نرخ تنزیل ارزی نیز ۸ درصد فرض گردیده است.

جدول ۸ . مشخصات فن‌آوری نیروگاه‌های نمونه تولید برق از سوخت‌های فسیلی

نوع نیروگاه	ظرفیت نمونه (MW)	عمر مفید (سال)	مدت زمان ساخت (سال)	ضریب واحد (درصد)	بازده (درصد)	ارزش اسقاطی (درصد)
بخاری با سوخت نفت کوره	۱۰۰۰	۳۰	۵	۶۲	۳۸/۵	۲۰
بخاری با سوخت گاز	۱۰۰۰	۳۰	۵	۶۲	۳۸/۵	۲۰
گازی با سوخت گاز (بار پایه)	۴۰۰	۱۵	۲	۶۱/۴	۳۳/۴	۲۰
گازی با سوخت گاز (بار پیک)	۴۰۰	۱۵	۲	۲۵	۳۳/۴	۲۰
گازی با سوخت نفت‌گاز (بار پایه)	۴۰۰	۱۵	۲	۶۱/۴	۳۳/۴	۲۰
گازی با سوخت نفت‌گاز (بار پیک)	۴۰۰	۱۵	۲	۲۵	۳۳/۴	۲۰
سیکل ترکیبی	۱۲۰۰	۳۰	۵	۶۲/۲	۵۰	۲۰

مأخذ: وزارت نیرو، دفتر برنامه ریزی انرژی، گروه عرضه انرژی، ۱۳۸۰.

جدول ۹. مشخصات فن‌آوری نیروگاه‌های نمونه تولید برق از منابع انرژی تجدیدپذیر

نوع نیروگاه	ظرفیت نمونه (MW)	عمر مفید (سال)	مدت زمان ساخت (سال)	ضریب واحد (درصد)	بازده (درصد)	ارزش اسقاطی (درصد)
آبی (مخزن چندمنظوره)(بخش برق)	۱۰۰۰	۳۵	۳	۲۰	-	۲۰
آبی کوچک	۲۰	۵۰	۳	۶۰	-	۲۰
بادی	۵	۲۰	۱	۳۳	-	۲۰
خورشیدی - فتوولتائیک	۱	۲۵	۱	۲۰	-	۲۰
خورشیدی - سهموی بلند	۱	۲۵	۲	۲۰	-	۲۰
خورشیدی - دریافت کننده مرکزی	۱	۲۵	۲	۲۰	-	۲۰
خورشیدی - بشقابک استرلینگ	۱	۲۵	۲	۲۰	-	۲۰
زمین‌گرمایی	۱۰۰	۳۰	۵	۸۵	-	۲۰
زیست توده	۳۸/۵	۳۰	۵	۵۵	۳۳	۲۰
پیل سوختی PAFC (برق)	۰/۲	۵	۱	۹۵	۴۰	۲۰
پیل سوختی PAFC (حرارت)	۰/۲	۵	۱	۹۵	۳۷	۲۰

مأخذ: وزارت نیرو، دفتر برنامه ریزی انرژی، گروه عرضه انرژی، ۱۳۸۰.

برای نیروگاه آبی با مخزن یک منظوره، از مشخصات موجود نیروگاه آبی گتوند علیا استفاده گردیده است. در سمت راست جداول (۱۰) و (۱۱)، میزان کل سرمایه‌گذاری اولیّه به‌تفکیک ارزی‌و ریالی بیان‌شده‌است. هزینه استهلاک سرمایه به‌تفکیک‌ارزی و ریالی که در قسمت چپ جداول مذکور آورده شده است، با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C_i = \{\sum_i [INV_i/(1+r)^i] - [SLVG/(1+r)^{N+Nbld}]\} \div \{\sum_j [1/(1+r)^j]\}$$

که در آن:

Ci: هزینه استهلاک سالانه (ارزی و ریالی)

i =1, 2, ..., Nbld

INVi: مقدار سرمایه‌گذاری سالیانه برای ساخت نیروگاه

r: نرخ تنزیل (ارزی و ریالی)

SLVG: ارزش اسقاطی

Nbld: مدت زمان لازم برای ساخت نیروگاه

N: عمر مفید نیروگاه

j = Nbld+1, Nbld+2, ..., Nbld+N

جدول ۱۰. سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه استهلاک سرمایه نیروگاه‌های نمونه تولید برق از سوخت‌های فسیلی

نوع نیروگاه	سرمایه‌گذاری اولیه		هزینه استهلاک سرمایه	
	ارزی (دلار بر کیلووات)	ریالی (هزار ریال بر کیلووات)	ارزی (ریال بر کیلووات‌ساعت)	ریالی (ریال بر کیلووات‌ساعت)
بخاری با سوخت نفت کوره	۴۳۵	۱۰۳۸/۲۸۰	۶۶/۸۰	۴۲/۶۰
بخاری با سوخت گاز	۴۳۵	۱۰۳۸/۲۸۰	۶۶/۸۰	۴۲/۶۰
گازی با سوخت گاز (بار پایه)	۲۲۶/۳۶	۶۱۹/۳۸۰	۴۰/۸۸	۲۲/۳۰
گازی با سوخت گاز (بار پیک)	۲۲۶/۳۶	۶۱۹/۳۸۰	۸۷/۶۰	۵۱/۵۰
گازی با سوخت نفت‌گاز (بار پایه)	۲۲۶/۳۶	۶۱۹/۳۸۰	۴۰/۸۸	۲۲/۳۰
گازی با سوخت نفت‌گاز (بار پیک)	۲۲۶/۳۶	۶۱۹/۳۸۰	۸۷/۶۰	۵۱/۵۰
سیکل ترکیبی	۳۱۳/۰۳	۱۱۸۳/۷۷۰	۴۷/۹۰	۴۸/۴۰

مأخذ: وزارت نیرو، دفتر برنامه ریزی انرژی، گروه عرضه انرژی، ۱۳۸۰ و نتایج محاسبات.

جدول ۱۱. سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه استهلاک سرمایه نیروگاه‌های نمونه تولید برق از انرژی‌های پاک

نوع نیروگاه	سرمایه‌گذاری اولیه		هزینه استهلاک سرمایه	
	ارزی (دلار بر کیلووات)	ریالی (هزار ریال بر کیلووات)	ارزی (ریال بر کیلووات ساعت)	ریالی (ریال بر کیلووات ساعت)
آبی (مخزن چندمنظوره)(بخش برق)	۱۰۰	۲۰۰	۴۲/۴۰	۲۱/۵۰
آبی کوچک	۰	۴۰۰۰	۰	۱۴۲/۲۰
بادی	۶۵۰	۴۴۰۰	۱۸۳/۲۰	۲۵۶/۷۰
خورشیدی -فتوولتائیک	۷۰۰۰	۰	۲۹۹۴/۳۰	۰
خورشیدی -سهموی بلند	۲۵۰۰	۰	۱۰۶۹/۴۰	۰
خورشیدی -دریافت کننده مرکزی	۳۵۰۰	۰	۱۴۹۷/۱۰	۰
خورشیدی -بشقابک استرلینگ	۴۰۰۰	۰	۱۷۱۱/۰۰	۰
زمین‌گرمایی	۱۸۳۰	۰	۲۰۴/۹۰	۰
زیست توده	۲۹۰۰	۱۰۰	۵۰۱/۸۰	۴/۶۰
پیل سوختی PAFC (برق)	۱۹۴۸/۱۰۰	-	۴۶۹/۰۰	۰
پیل سوختی PAFC (حرارت)	۱۸۰۱/۹۰۰	-	۴۳۳/۸۰	۰

مأخذ: وزارت نیرو، دفتر برنامه ریزی انرژی، گروه عرضه انرژی، ۱۳۸۰ و نتایج محاسبات.

۵. هزینه تعمیر و نگهداری و پرسنلی

جداول ۱۲ و ۱۳، هزینه‌های تعمیر، نگهداری و پرسنلی نیروگاه‌های تولید برق از سوخت‌های فسیلی و منابع انرژی تجدیدپذیر را نشان می‌دهد. هزینه‌های ثابت در هر دو حالت ارزی و ریالی، درصد معینی از هزینه سرمایه‌گذاری اولیه خواهد بود هزینه کل تعمیر و نگهداری و پرسنلی، با استفاده از رابطه زیر محاسبه خواهد شد:

$$C=\{(xd.Id.8000 + xr.Ir.1000)/(D.8760)\} + (cvd.80 + cvr)$$

که در آن:

C: هزینه کل تعمیر و نگهداری و پرسنلی برحسب ریال بر کیلووات ساعت؛

xd: ضریب هزینه ثابت ارزی از سرمایه‌گذاری ارزی؛

Xr: ضریب هزینه ثابت ریالی از سرمایه‌گذاری ریالی؛

جدول ۱۲. هزینه‌های تعمیر و نگهداری و پرسنلی نیروگاه‌های نمونه تولید برق از سوخت‌های فسیلی

نوع نیروگاه	هزینه تعمیر و نگهداری و پرسنلی (سالیانه)				
	ثابت(درصدی از سرمایه‌گذاری اولیه)		متغیر		کل
	ارزی	ریالی	ارزی(C/KWH)	ریالی(R/KWH)	(R/KWH)
بخاری با سوخت نفت کوره	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۰۱۸۸	۱/۴۱۰	۷/۸۰۰
بخاری با سوخت گاز	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۰۱۸۸	۱/۴۱۰	۷/۸۰۰
گازی با سوخت گاز (بار پایه)	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۱۱۲۱	۰/۸۷	۱۱/۵۰۰
گازی با سوخت گاز (بار پیک)	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۱۱۲۱	۰/۸۷	۱۳/۹۰۰
گازی با سوخت نفت گاز (بار پایه)	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۱۱۲۱	۰/۸۷	۱۱/۵۰۰
گازی با سوخت نفت گاز (بار پیک)	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۱۱۲۱	۰/۸۷	۱۳/۹۰۰
سیکل ترکیبی	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۰۷۹۸	۰/۷۹	۸/۹۰۰

مأخذ: وزارت نیرو، دفتر برنامه ریزی انرژی، گروه عرضه انرژی، ۱۳۸۰ و نتایج محاسبات.

جدول ۱۳. هزینه‌های تعمیر و نگهداری و پرسنلی نیروگاه‌های نمونه تولید برق از انرژی‌های تجدید پذیر

نوع نیروگاه	هزینه تعمیر و نگهداری و پرسنلی (سالانه)				
	ثابت (درصدی از سرمایه‌گذاری اولیه)		متغیر		کل
	ارزی	ریالی	ارزی (C/KWH)	ریالی(R/KWH)	(R/KWH)
آبی (مخزن چندمنظوره)(بخش برق)	۱/۱۰	۱/۱۰	۰/۰۱	۰/۴۰	۷/۵۰
آبی کوچک	۲	۲	۰	۰	۱۵/۲۰
بادی	۲	۲	۰	۰	۶۶/۴۰
خورشیدی ـ فتوولتائیک	۰/۲۰	۰/۲۰	۰	۰	۶۳/۹۰
خورشیدی ـ سهموی بلند	۱/۶۰	۱/۶۰	۰	۰	۱۸۲/۶۰
خورشیدی ـ دریافت کننده مرکزی	۱	۱	۰	۰	۳۱۹/۶۰
خورشیدی ـ بشقابک استرلینگ	۳/۷۵	۳/۷۵	۰	۰	۶۸۴/۹۰
زمین گرمایی	۲	۲	۰	۰	۳۹/۳۰
زیست توده	۲	۲	۰	۰	۹۶/۷۰
پیل سوختی PAFC (برق)	۰	۰	۰/۱۷	۰	۱۳/۶۰
پیل سوختی PAFC (حرارت)	۰	۰	۰/۱۷	۰	۱۳/۶۰

مأخذ: وزارت نیرو، دفتر برنامه ریزی انرژی، گروه عرضه انرژی، ۱۳۸۰ و نتایج محاسبات از رابطه فوق.

Id: سرمایه‌گذاری ارزی برحسب دلار بر کیلووات؛
Ir: سرمایه‌گذاری ریالی برحسب هزار ریال بر کیلووات؛
Cvd: هزینه متغیر ارزی برحسب سنت بر کیلووات ساعت؛
Cvr: هزینه متغیر ریالی برحسب ریال بر کیلووات ساعت؛

۶. هزینه خالص تولید برق از نیروگاه‌های کشور

جدول ۱۴، هزینه خالص تولید برق از سوخت‌های فسیلی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که میزان هزینه خالص تولید از مجموع هزینه‌های سوخت، استهلاک سرمایه و تعمیرات و نگهداری و پرسنلی به‌دست می‌آید. در مورد تولید برق از منابع انرژی تجدیدپذیر، فقط قیمت‌های جهانی در مورد هزینه‌های سوخت به‌کار گرفته خواهد شد و نحوه محاسبه هزینه خالص تولید برق از این منابع، مشابه تولید برق از سوخت‌های فسیلی خواهد بود. در جدول ۱۵، نتایج این محاسبات بیان شده است.

جدول ۱۴. هزینه‌های خالص تولید برق از نیروگاه‌های با سوخت فسیلی
(R/kwH)

نوع نیروگاه	مؤلفه‌های هزینه خالص				جمع هزینه خالص تولید
	هزینه سوخت	هزینه استهلاک سرمایه		هزینه تعمیرات و نگهداری پرسنل	
		ریالی	ارزی		
گازی با سوخت گاز (بار پایه)	۶/۵۳۴	۲۲/۳۰۰	۴۰/۸۸۰	۱۱/۵۰۰	۸۱/۲۱۴
گازی با سوخت نفت‌گاز (بار پایه)	۱۲/۲۷۶	۲۲/۳۰۰	۴۰/۸۸۰	۱۱/۵۰۰	۸۶/۹۵۶
سیکل ترکیبی	۴/۳۵۶	۴۸/۴۰۰	۴۷/۹۰۰	۸/۹۰۰	۱۰۹/۵۵۶
بخاری با سوخت گاز	۵/۶۶۳	۴۲/۶۰۰	۶۶/۸۰۰	۷/۸۰۰	۱۲۲/۸۶۳
بخاری با سوخت نفت کوره	۸/۰۸۱	۴۲/۶۰۰	۶۶/۸۰۰	۷/۸۰۰	۱۲۵/۲۸۱
گازی با سوخت گاز (بار پیک)	۶/۵۳۴	۵۱/۵۰۰	۸۷/۶۰۰	۱۳/۹۰۰	۱۵۹/۵۳۴
گازی با سوخت نفت‌گاز (بار پیک)	۱۲/۲۷۶	۵۱/۵۰۰	۸۷/۶۰۰	۱۳/۹۰۰	۱۶۵/۲۷۶

مأخذ: نتایج محاسبات انجام گرفته بر روی داده‌های جداول (۶)، (۱۰) و (۱۲).

جدول ۱۵. هزینه‌های خالص تولید برق از نیروگاه‌های با منابع انرژی تجدیدپذیر

(R/kwH)

نوع نیروگاه	مؤلفه‌های هزینه خالص				جمع هزینه خالص تولید
	هزینه سوخت	هزینه استهلاک سرمایه		هزینه تعمیرات و نگهداری پرسنل	
		ریالی	ارزی		
آبی بزرگ (مخزن چندمنظوره) (بخش برق)	۰	۲۱/۵۰۰	۴۲/۴۰۰	۷/۵۰۰	۷۱/۴۰۰
آبی کوچک	۰	۱۴۲/۲۰۰	۰	۱۵/۲۰۰	۱۵۷/۴۰۰
زمین‌گرمایی	۰	۰	۲۰۴/۹۰۰	۳۹/۳۰۰	۲۴۴/۲۰۰
پیل سوختی PAFC (حرارت)	۳۸/۹۰۰	۰	۴۳۳/۸۰۰	۱۳/۶۰۰	۴۸۶/۳۰۰
بادی	۰	۲۵۶/۷۰۰	۱۸۳/۲۰۰	۶۶/۴۰۰	۵۰۶/۳۰۰
پیل سوختی PAFC (برق)	۴۲/۱۰۰	۰	۴۶۹/۰۰۰	۱۳/۶۰۰	۵۲۴/۷۰۰
زیست توده	۲۴/۲۰۰	۴/۶۰۰	۵۰۱/۸۰۰	۹۶/۷۰۰	۶۲۷/۳۰۰
خورشیدی - سهموی بلند	۰	۰	۱۰۶۹/۴۰۰	۱۸۲/۶۰۰	۱۲۵۲/۰۰۰
خورشیدی - دریافت کننده مرکزی	۰	۰	۱۴۹۷/۱۰۰	۳۱۹/۶۰۰	۱۸۱۶/۷۰۰
خورشیدی - بشقابک استرلینگ	۰	۰	۱۷۱۱/۰۰۰	۶۸۴/۹۰۰	۲۳۹۵/۹۰۰
خورشیدی - فتوولتائیک	۰	۰	۲۹۹۴/۳۰۰	۶۳/۹۰۰	۳۰۵۸/۲۰۰

مأخذ: نتایج محاسبات انجام گرفته بر روی داده‌های جداول ۶، ۱۱ و ۱۳.

بنابراین، در غیاب هزینه‌های اجتماعی ناشی از آلاینده‌های منتشره در هزینه تمام شده، تولید برق از سوخت‌های فسیلی، همواره از منابع انرژی تجدیدپذیر، به‌استثنای برق‌آبی بزرگ، ارزان‌تر تمام خواهد گردید. البته، برق تولیدی از برق‌آبی کوچک، از برخی نیروگاه‌های فسیلی به‌صرفه‌تر خواهد بود. طبق جداول فوق، تولید برق از پیل‌های سوختی، در صورت رفع مشکلات سرمایه‌گذاری بسیار ارجح‌تر از نیروگاه‌های خورشیدی و زیست‌توده و نوع حرارتی آن، ارجح‌تر از نیروگاه‌های بادی تشخیص داده شده است.

لازم به ذکر است که تولید برق از نیروگاه‌های خورشیدی، دارای هزینه‌های بسیار بالایی بوده و در این میان، تولید برق در نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک، دارای هزینه تولیدی معادل ۴۳ برابر نیروگاه‌های برق‌آبی بزرگ، ۲۰ برابر نیروگاه‌های آبی کوچک، ۳۸ برابر نیروگاه‌های گازی با سوخت گاز طبیعی در حالت بار پایه، ۱۲/۵ برابر نیروگاه‌های زمین‌گرمایی، ٦ برابر پیل‌های سوختی و در نهایت، ۵ برابر زیست توده می‌باشند.

۷. هزینه‌های اجتماعی تولید برق در نیروگاه‌های فسیلی کشور

جدول ۱۶، شاخص‌های انتشار آلاینده‌ها از سوخت‌های فسیلی را نشان می‌دهد. مقادیر مندرج در این جدول، از مراجع مختلف گردآوری و محاسبه شده‌اند.

جدول ۱۶. شاخص‌های انتشار آلاینده‌های هوا از سوخت‌های فسیلی

نوع سوخت	واحد انتشار	کربن	NO_X	SO_X	CH	SPM
گاز طبیعی	Kg/m^3	۲/۱۳۳	۰/۰۰۳	$۶ \times ^{-}۱۰^{۶}$	–	$۲/۷ \times ^{-}۱۰^{۴}$
نفت کوره	Kg/litre	۲/۹۸	۰/۰۱	۰/۰۴۶	$۴ \times ^{-}۱۰^{۴}$	۰/۰۰۱
نفت گاز	Kg/litre	۲/۶۴۸	۰/۰۰۷	۰/۰۱۵	$۴ \times ^{-}۱۰^{۴}$	۰/۰۰۱۵

CH: معرف هیدروکربن‌های سوخته نشده و SPM: معرف ذرات معلق می‌باشد. n.a. : مقدار آن ناچیز و قابل چشم‌پوشی است.

مأخذ: پروژه «طرح تولید انرژی از منابع عمده زیست توده» تهران: وزارت نیرو ـ دفتر انرژی‌های نو معاونت امور انرژی، ۱۳۷۹.

حال، با توجه به جدول فوق و نیز، مقدار سوخت مصرفی به ازاء یک کیلووات‌ساعت تولید برق در هر نیروگاه که در جدول ۵ محاسبه شده است، می‌توان میزان انتشار هر کدام از آلاینده‌های فوق را به تفکیک نیروگاه‌های موجود بدست آورد. نتایج این فرایند، در جدول ۱۷ آورده شده است.

جدول ۱۷. میزان انتشار آلاینده‌های هوا از نیروگاه‌های کشور در سال ۱۳۸۰

(گرم بر کیلووات‌ساعت)

	C	NO_x	SO_x	CH	SPM
بخاری با سوخت نفت کوره	۶۷۶/۴۶	۲/۲۷	۱۰/۴۴	۰/۰۹	۰/۲۳
بخاری با سوخت گاز	۴۹۹/۱۲	۰/۷۰	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۶
گازی با سوخت گاز	۵۷۵/۹۱	۰/۸۱	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۷
گازی با سوخت نفت‌گاز	۷۳۸/۷۹	۱/۹۵	۴/۱۹	۰/۱۱	۰/۴۲
سیکل ترکیبی	۳۸۳/۹۴	۰/۵۴	۱/۰۸	۰	۰/۰۵

مأخذ: نتایج محاسبات انجام گرفته بر روی داده‌های جداول (۵) و (۱۶).

با توجه به جدول فوق، میزان انتشار آلاینده‌های CH و SPM در مقایسه با سایر آلاینده‌ها بسیار ناچیز می‌باشد. بنابراین در این قسمت، تأکید عمده ما روی هزینه‌های اجتماعی سه آلاینده دیگر خواهد بود لازم به ذکر است که گازهای کربن، عمدتا به صورت دی‌اکسید کربن و مونواکسید کربن منتشر می‌شوند که به‌دلیل عدم دسترسی

مستقیم و دقیق به شاخص انتشار و هزینه‌های آنها، با اندکی اغماض، میزان انتشار کربن را به دی‌اکسید کربن عمومیت داده و به جای آن مورد استفاده قرار می‌دهیم و این مورد، به یقین جزء محدودیت‌ها و کاستی‌های تحقیق حاضر می‌باشد.

جدول ۱۸. شاخص هزینه‌های اجتماعی به تفکیک آلاینده‌های هوا

(دلار بر تن)

آلاینده	SO_x	NO_x	CO_2
هزینه‌های اجتماعی	۸۸۳	۶۴۴۶	۲۴/۳

مأخذ: وزارت نیرو، معاونت امور انرژی، گروه محیط زیست، براساس آمارهای منتشره از EPA.

جدول ۱۹. هزینه‌های اجتماعی انتشار آلاینده‌های هوا به تفکیک نیروگاه‌های کشور

(R/kwH)

	CO_2	NO_x	SO_x	جمع
بخاری با سوخت نفت کوره	۱۳۱/۵۰	۱۱۷/۰۶	۷۳/۷۵	۳۲۲/۳۱
بخاری با سوخت گاز	۹۷/۰۳	۳۶/۱۰	۰/۰۱	۱۳۳/۱۴
گازی با سوخت گاز	۱۱۱/۹۶	۴۱/۷۷	۰/۰۱	۱۵۳/۷۴
گازی با سوخت نفت‌گاز	۱۴۳/۶۲	۱۰۰/۵۶	۲۹/۶۰	۲۷۳/۷۸
سیکل ترکیبی	۷۴/۶۴	۲۷/۸۵	۷/۶۳	۱۱۰/۱۲

مأخذ: نتایج محاسبات انجام گرفته بر روی داده‌های جداول ۱۷ و ۱۸.

۸. هزینه‌های کل تولید برق با احتساب هزینه‌های اجتماعی

همان طوری‌که مشاهده گردید، با تولید برق از سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌های کشور، مقادیر قابل توجهی آلاینده‌های زیست‌محیطی انتشار می‌یابد که هزینه‌های اجتماعی گزافی را بر جامعه تحمیل می‌نماید. اگر این هزینه‌های اجتماعی با هزینه‌های خالص برق تولیدی جمع گردد، هزینه‌های واقعی که جامعه بایستی برای تولید و مصرف برق متحمل شود، به دست می‌آید. در ضمن، فرض بر این است که تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر، به دلیل عدم استفاده از سوخت‌های دارای آلاینده و یا استفاده ناچیز از آنها (در مورد پیل‌های سوختی و زیست توده)، دارای هزینه‌های زیست محیطی ناچیز و یا در حد صفر می‌باشد. جداول ۲۰ و ۲۱، نتایج محاسبه هزینه‌های اجتماعی را در هزینه واحد تولید برق به تفکیک سوخت‌های فسیلی و منابع انرژی تجدیدپذیر نشان می‌دهند.[۱]

۱. لازم به ذکر است که در این تحقیق، به دلیل بررسی هزینه‌های آلایندگی انواع انرژی‌ها، سایر فاکتورهای شناخته شده به عنوان هزینه‌های اجتماعی بخش انرژی در نظر گرفته نشده و فرض بر این است هزینه‌های اجتماعی تنها از هزینه‌های زیست محیطی تشکیل شده است.

جدول ۲۰. هزینه‌های کل تولید برق از نیروگاه‌های فسیلی با احتساب هزینه‌های اجتماعی

(R/kwH)

نوع نیروگاه	هزینه خالص	هزینه‌های اجتماعی	هزینه‌های کل
سیکل ترکیبی	۱۰۹/۵۶	۱۱۰/۱۲	۲۱۹/۶۸
گازی با سوخت گاز (بار پایه)	۸۱/۲۱	۱۵۳/۷۴	۲۳۴/۹۵
بخاری با سوخت گاز	۱۲۲/۸۶۳	۱۳۳/۱۴	۲۵۶/۰۰
گازی با سوخت گاز (بار پیک)	۱۵۹/۵۳	۱۵۳/۷۴	۳۱۳/۲۷
گازی با سوخت نفت‌گاز (بار پایه)	۸۶/۹۶	۲۷۳/۷۸	۳۶۰/۷۴
گازی با سوخت نفت‌گاز (بار پیک)	۱۶۵/۲۸	۲۷۳/۷۸	۴۳۹/۰۶
بخاری با سوخت نفت کوره	۱۲۵/۲۸	۳۲۲/۳۱	۴۴۷/۵۹

مأخذ: نتایج محاسبات انجام گرفته بر روی داده‌های جداول (۱۴) و (۱۹).

جدول ۲۱. هزینه‌های کل تولید برق از نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر با احتساب هزینه‌های اجتماعی

(R/kwH)

نوع نیروگاه	هزینه خالص	هزینه‌های اجتماعی	هزینه‌های کل
آبی بزرگ (مخزن چندمنظوره) (بخش برق)	۷۱/۴۰	۰	۷۱/۴۰
آبی کوچک	۱۵۷/۴۰	۰	۱۵۷/۴۰
زمین گرمایی	۲۴۴/۲۰	۰	۲۴۴/۲۰
پیل سوختی PAFC (حرارت)	۴۸۶/۳۰	۰	۴۸۶/۳۰
بادی	۵۰۶/۳۰	۰	۵۰۶/۳۰
پیل سوختی PAFC (برق)	۵۲۴/۷۰	۰	۵۲۴/۷۰
زیست توده	۶۲۷/۳۰	۰	۶۲۷/۳۰
خورشیدی ـ سهموی بلند	۱۲۵۲/۰۰	۰	۱۲۵۲/۰۰
خورشیدی ـ دریافت کننده مرکزی	۱۸۱۶/۷۰	۰	۱۸۱۶/۷۰
خورشیدی ـ بشقابک استرلینگ	۲۳۹۵/۹۰	۰	۲۳۹۵/۹۰
خورشیدی ـ فتوولتائیک	۳۰۵۸/۲۰	۰	۳۰۵۸/۲۰

مأخذ: نتایج محاسبات انجام گرفته بر روی داده‌های جداول ۱۵.

در این بخش، با لحاظ نمودن هزینه‌های اجتماعی در قیمت تمام شده، تولید برق از نیروگاه زمین گرمایی نیز (علاوه بر نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک و بزرگ)، از تمام نیروگاه‌های با سوخت فسیلی، از نظر هزینه‌ای دارای اولویت خواهد بود. از طرف دیگر، تولید برق از پیل‌های سوختی PAFC (حرارتی)، در مقایسه با نیروگاه بخاری با سوخت نفت‌کوره و گازی با سوخت نفت‌گاز (بار پایه و بار پیک) نسبت به وضعیت قبل، بتدریج توجیه اقتصادی پیدا نموده و دارای هزینه تمام شده کمتری خواهند بود. در ضمن، تولید برق از نیروگاه بادی نسبت به نیروگاه‌های بخاری با سوخت نفت کوره و گازی با سوخت نفت گاز (بار پیک) و تولید برق از پیل‌های سوختی PAFC (برق) نسب به نیروگاه گازی با سوخت نفت گاز (بار پیک)، بتدریج اقتصادی گردیده و دارای هزینه تمام شده پائین‌تری خواهد بود و در نهایت، تولید برق از زیست توده، با تفاوت هزینه‌ای کم نسبت به نیروگاه گازی با سوخت نفت‌گاز (بار پیک)، پایین‌تر از آن قرار خواهد گرفت. تولید برق از انواع نیروگاه‌های خورشیدی، با لحاظ هزینه‌های اجتماعی نیز، همچنان غیراقتصادی بوده و حداقل دو برابر (در مورد خورشیدی سهموی بلند) و حداکثر شش برابر (در مورد خورشیدی فتوولتائیک) هزینه‌های تولید نیروگاه گازی با سوخت نفت گاز در حالت بار پیک (پرهزینه‌ترین نیروگاه فسیلی) می‌باشد.

۱۰. نتیجه‌گیری

با لحاظ نمودن هزینه‌های اجتماعی (البته در حد هزینه‌های اجتماعی مربوط به CO2، NO_X و SO_X) در قیمت تمام شده برق تولیدی در کشور، نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک، بزرگ و زمین‌گرمایی به طور کامل و نیروگاه‌های بادی و پیل سوختی PAFC (حرارتی و برق) به طور نسبی، نسبت به تولید برق از نیروگاه‌های با سوخت فسیلی دارای ارجحیت اقتصادی (هزینه‌ای) بوده و البته، در صورتی که یارانه‌های اعطایی به تولید برق در نیروگاه‌های با سوخت فسیلی قطع شده و به تولید برق از نیروگاه‌های با منابع انرژی تجدیدپذیر تعلق گیرد، به طور معنی‌داری، اکثر این نیروگاه‌ها کاملا دارای توجیه اقتصادی گردیده و در بلندمدّت، باعث واقعی شدن قیمت‌ها در این بخش و به تبع آن، کاهش هزینه‌های بودجه‌ای دولت و فشارهای مالیاتی و آزاد شدن منابع مزبور (که رقم بسیار قابل توجّهی را تشکیل می‌دهد) و صرف آن در امر تحقیق و توسعه دانش فنی و آموزش نیروهای متخصص در بخش انرژی‌های لایزال و پاک تجدیدپذیر و ... خواهد گردید. در نتیجه این اقدامات، تأثیرات مثبتی را در روند تولید و درآمد ملی، کاهش اتلاف منابع پایان پذیر،

افزایش درآمدهای مستقیم و غیرمستقیم صادرات منابع فسیلی و با ارزش‌افزوده بالاتر، افزایش اشتغال و رونق تجاری، کاهش تورم در سطح ملی و فراملی، افزایش قدرت چانه‌زنی در بازارهای جهانی نفت، کاهش وابستگی‌ها در تمام ابعاد سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و نظامی به نوسانات قیمت و مصرف سوخت‌های فسیلی در سطوح ملی و بین‌المللی و ... می‌توان پیش‌بینی نمود.

منابع و مآخذ:

فارسی

۱. آمار تفضیلی صنعت برق ایران در سال ۱۳۸۰، تهران: وزارت نیرو ـ توانیر، ۱۳۸۱.

۲. پروژه «طرح تولید انرژی از منابع عمده زیست توده»، تهران: وزارت نیرو ـ دفتر انرژی‌های نو معاونت امور انرژی، ۱۳۷۹.

۳. ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۰ کل کشور، تهران: وزارت نیرو ـ معاونت امور انرژی، ۱۳۸۱.

۴. عسگری، جعفر؛ «اهمیت بخش انرژی در اقتصاد ایران»، نشریه پیام انرژی، شماره ۷۷، سال هفتم، خرداد ۱۳۸۱.

۵. کاظمی، خلیل؛ انرژی‌های پاک و ضرورت توسعه آن از دیدگاه اقتصادی: مطالعه موردی اقتصاد هیدروژن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته علوم اقتصادی، با راهنمایی دکتر حسین صادقی، تهران: دانشکده علوم انسانی دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۳.

۶. کرباسی، عبدالرضا و همکاران؛ انرژی و محیط زیست، تهران: وزارت نیرو ـ معاونت امور انرژی، ۱۳۷۶.

۷. کرد، بهمن؛ نقش انرژی‌های نو در تأمین انرژی روستایی در ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته علوم اقتصادی، با راهنمایی دکتر حسین صادقی، تهران: دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۹.

۸. گزارش «سیاست‌گذاری‌ها و روش‌های اجرایی جهت استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر طی برنامه سوم توسعه»، تهران: دفتر برنامه‌ریزی انرژی ـ معاونت امور انرژی وزارت نیرو، ۱۳۸۰.

منابع لاتین

9. BP Amoco Statistical Review of World Energy 2001.

10. C.J. Winter, J. Nitsch, Hydrogen as an Energy Carrier, 1998.

11. EIA, 2001a (2001a). Energy Information Adminstration (EIA), 2001a. Renewable Energy 2000: Issuses and Trends. US EIA, Washington, DC.

12. OECD, OECD Environmental Data, 2002.

13. Renewable Energy World Review, April 2000.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی