DOR: 20.1001.1.24234931.1398.6.1.13.3

سال ششم، شماره اول، تابستان ۱۳۹۸، ص ۱۱۰ ص ۱۱۹

فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

Jrenew.ir

مقاله

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۳

مروری بر هزینه‌های محیط زیستی تولید برق با تاکید بر انرژی‌های تجدیدپذیر

سیّده مهسا موسوی رینه[۱]، حسین یوسفی[۲*]، مهناز ابوالقاسمی[۱]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۲- دانشیار، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

* صندوق پستی تهران، ۱۴۳۹۹۵۷۱۳۱، Hosseinyousefi@ut.ac.ir

چکیده

بر اساس تعاریف، هزینه‌های خارجی، نتایج زیان‌بار فعالیت‌های اقتصادی می‌باشد که این هزینه‌ها، به صورت آثار اجتماعی و محیط زیستی ظاهر می‌گردند. به عبارت دیگر تولید هر محصول (به صورت کالا و یا خدمات) محیط زیست را متحمل هزینه‌هایی می‌کند که این هزینه‌ها در قیمت نهایی آن محصول لحاظ نمی‌گردد. عدم توجه به هزینه‌های محیط زیستی تولید برق باعث ایجاد آثار مخرب بر منابع طبیعی می‌گردد، در بخش انرژی کشور، هزینه‌های خارجی که به جامعه و محیط زیست تحمیل می‌گردند باعث آلودگی آب، هوا، کاهش منابع آب شیرین و ... می‌شوند. با جایگزینی انرژی‌های نو و تجدید پذیر می‌توان به کاهش این هزینه‌ها کمک کرد. بر اساس بررسی منابع موجود هزینه‌های خارجی در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی در مقایسه با سایر نیروگاه‌های تولید برق به سبک سنتی از مقدار کمتری برخوردار است. در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی شاخص گازهای آلاینده NO_x، SO_2 و CO_2 به ترتیب ۰/۷۰۵، ۰/۲۶۵ و ۴۶۷/۰۷۱ می‌باشد که در مقایسه با نیروگاه‌های بخاری، گازی و دیزلی، هزینه‌های خارجی بسیار پایین‌تری دارد. هم‌چنین باتوجه به وجود پتانسیل‌های انرژی خورشیدی، زمین گرمایی، زیست توده و بادی در کشور ایران سهم این انرژی‌ها در بخش‌های مختلف در طی سال‌های آتی افزایش می‌یابد. برای مثال کشور ایران حدود ۹۰ درصد دارای پتانسیل انرژی زمین گرمایی است. پایین‌تر بودن هزینه‌های محیط زیستی انرژی‌های تجدیدپذیر یکی دیگر از دلایل لزوم افزایش سهم این نوع منبع انرژی در سبد انرژی کشور می‌باشد، هم‌چنین لازم به ذکر است که انرژی خورشیدی و بادی دارای کم‌ترین ردپای آب نیز می‌باشند.

کلیدواژگان: هزینه‌های محیط زیستی، هزینه‌های خارجی، تولید برق، انرژی‌های تجدیدپذیر، خرید تضمینی

www.SID.ir

A review of external costs of electricity generation emphasising on renewable energies

Mahsa Mousavi Reineh[1], Hossein Yousefi[2*], Mahnaz Abolghasemi[1]

1- Master of Science (MSc) Student, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Associate Professor, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

* P.O.B. 1439957131, Tehran, Iran, Hosseinyousefi@ut.ac.ir

Received: 22 October 2018 Accepted: 24 December 2018

Abstract

According to definitions, external costs are the harmful results of economic activities. This costs represent as social and environmental costs. In the other words, producing a product is attendant with some costs for environment and this cost is not calculated in final price of that product. Paying no attention to this external costs, cause the destructive effects on environment and natural resources. In the energy sector of country, external costs are being imposed some costs on society and environment and cause water and air pollution and reduce the level of the freshwater. Replacing renewable energies can reduce this costs. Based on recent studies, external cost of combined cycle power plants is less the others. According to potential of wind, solar, biomass and geothermal energy in Iran, we can improve our level in renewable energies in future. Not only the environmental costs of renewable energy is very low but also the water footprint in solar and wind power is less than other power plant.

Keywords: Environmental costs, External costs, Power Generation, Renewable energy, Tarriffs

www.SID.ir

۱- مقدمه

بروز تحولات اخیر در مسائل محیط زیستی، بشر را متوجه غفلت‌هایی در زمینه هزینه‌یابی محصولات تولیدی خود کرده است. امروزه به خوبی معلوم شده است که هرگونه فعالیت تولیدی و بشری، علاوه بر هزینه‌های مرسوم نهاده‌های تولیدی، دارای هزینه‌های خارجی نیز هست. یکی از مهم‌ترین این هزینه‌ها هزینه‌های مترتب بر آثار محیط زیستی فعالیت‌های بشری است. آثار محیط زیستی فعالیت‌های تولیدی وارد حوزه‌های مختلف زندگی بشری شده است. به گونه‌ای که علاوه بر آثار اجتماعی و اقتصادی، روانی و غیره‌ای که بر جای می‌گذارد، کلیت حیات بشری را نیز با تهدیدی جدی مواجه کرده است. بر این اساس توجه به پیامدهای محیط زیستی فعالیت‌های تولیدی، صنعتی و عمرانی نه یک انتخاب لوکس بلکه یک ضرورت حیاتی است[۱]. نگرانی و تلاش متخصصان و صاحب نظران عرصه اقتصاد محیط زیست برای حل این مسئله، به ظهور نخستین تحول در بینش و نگرش درباره الگوهای سنتی رشد اقتصادی در اواخر دهه ۱۹۶۰ منجر شد [۲]. در جهت حمایت از محیط زیست در سال ۱۹۷۱ در سوئیس، ۱۹۷۲ در استکهلم سوئد، کمیسیون برانتلند در سال ۱۹۸۷ و کنفرانس ۱۹۹۲ ریودوژانیرو برزیل کشورهای عضو، متعهد به اعمال سیاست‌های توسعه، با تاکید بر رویکرد زیست محیطی شدند. به هر حال با اهمیت یافتن مسائل زیست محیطی در سطح بین الملل، اکثر کشورها در پیاده سازی سیاست‌هایی در این مورد اهتمام ورزیدند، اگرچه سرعت آن در برخی کشورها بیشتر و در برخی پایین بود [۲]. سپس برای سنجش دقیق‌تر اصطلاح پایداری، طیف وسیعی از تحلیلگران اقتصاد محیط زیست، رد پای اکولوژیک منابع طبیعی را معرفی نمودند. رد پای اکولوژیک، یک معیار پایداری است که مقدار خدمات زیست محیطی به کار رفته ناشی از منابع آب و زمین برای تولید کالاها و خدمات و جذب ضایعات و آلودگی حاصل از آن‌ها برای مصرف یک جامعه انسانی را نشان می‌دهد [۳]. تولید برق از نیروگاه‌های با سوخت‌های فسیلی بخش قابل ملاحظه‌ای از این صدمات را ایجاد می‌کند که به صورت هزینه خارجی ظاهر می شود [۴]. درونی کردن هزینه‌های خارجی در داخل هزینه‌های تولید برق یک ابزار با کارایی بالا می‌باشد تا بر اساس آن اثرات خارجی کاهش پیدا کند و عرضه انرژی پایدار و استفاده از آن افزایش یابد[۵]. با توجه به آثار زیان‌بار ناشی از سوخت‌های فسیلی برای تولید انرژی و همچنین کاهش منابع سوخت‌های فسیلی پژوهش در زمینه انرژی‌های جایگزین و تجدیدشونده شامل انرژی خورشیدی و بادی ضروری است [۶]. از جمله آثار نامطلوب استفاده از سوخت‌های فسیلی، می‌توان به تولید آلودگی‌های محیط زیستی اشاره نمود. برای حل این مشکلات راهکارهایی چون بهینه‌سازی مصرف سوخت و افزایش بهره‌وری نیروگاه‌ها و یا جایگزینی منابع تولید انرژی در نظر گرفته شده است. ارزیابی هزینه‌های خارجی فعالیت‌های تولیدی، ادبیات وسیعی در علم اقتصاد دارد. مفهوم پیامد خارجی در قرن ۲۰ میلادی وارد ادبیات اقتصادی شد. در سال ۱۹۲۰ پیگو (اقتصاددان) نتایج زیان‌بار فعالیت‌های اقتصادی را تحت عنوان پی‌آمد خارجی توصیف کرد. در سال ۱۹۷۴ توسط OECD[۱] سندی ارائه شد که اصول پرداخت‌ها توسط آلوده کنندگان نامیده می‌شد که بر اساس آن هزینه‌های آلودگی‌های ایجاد شده بر عهده تولیدکنندگان آلودگی و مصرف‌کنندگان کالاهایی که آلودگی ایجاد شده به دلیل تولید آن کالاها بوده است، گذاشته شد و از این طریق اجتماع از این قاعده (پرداخت هزینه) مستثنی شد [۷]. هم‌چنین در سال‌های اخیر تحقیقاتی در راستای برآورد هزینه‌های محیط زیستی و رد پای تولید برق از انواع نیروگاه‌ها و هم‌چنین بررسی جایگزینی انرژی‌های نو و تجدیدپذیر، انجام گرفته است که در ادامه ضمن بررسی این مفاهیم به آن‌ها اشاره خواهد شد.

۲- روش بررسی

تحقیق انجام شده، با تاکید بر مفاهیم نظری است که با روش کتابخانه‌ای از کتب، مقالات داخلی و خارجی جمع‌آوری شده است.در این تحقیق به نمونه‌های پژوهشی و مقالاتی در مورد هزینه‌های محیط زیستی تولید برق اشاره شده است.

۳- هزینه های محیط زیستی

بسیاری از گزارشاتی که در طول ۲۰ سال اخیر ارائه شده، نشان میدهد که آلودگی هوا باعث صدمات جبران‌ناپذیری به سلامت و محیط زیست می‌شود. حسابداری محیط زیست در برگیرنده مجموعه قواعدی است که موجب بهبود توان سیستم حسابداری برای شناسایی، ثبت و گزارشگری آثار ناشی از تخریب و آلودگی محیط زیست می‌شود. حسابداری محیط زیست مبتنی بر تلفیق محیط زیست به عنوان یک منبع سرمایه و در نظر گرفتن هزینه‌های محیط زیستی به عنوان یکی از هزینه‌های قابل قبول در فرایندهای اقتصادی و محاسباتی می‌باشد. هدف حسابداری محیط زیستی، فراهم آوردن اطلاعاتی است که برای ارزیابی عملکرد، تصمیم‌گیری، کنترل و گزارشگری بتواند به مدیران یاری رساند. بسیاری از هزینه‌های محیط‌زیستی را می‌توان با استفاده از تصمیم‌گیری‌های تجاری بهتر، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سازگارتر با محیط‌زیست (صنایع سبز) و طراحی دوباره فرآیندها و محصولات تولیدی به طور درخور ملاحظه‌ای کاهش داده و یا بطور کامل آن‌ها را حذف کرد؛ زیرا برخی از این هزینه‌ها ممکن است هیچ ارزش افزوده‌ای برای سیستم و یا محصول ایجاد نکنند. مدیریت بهتر هزینه‌های محیط‌زیستی قادر خواهد بود عملکرد را بهبود بخشیده و مزایای درخور اعتنایی را برای جامعه به همراه داشته باشند [۸]. اقتصاددان‌ها مدت‌هاست که فهمیده‌اند سیستم بازار خصوصی اثرات نامطلوبی بر محیط زیست و سلامتی بشر دارد. این اثرات نامطلوب شامل دودهای مضر، آب آلوده، گازهای آلاینده منتشره از صنایع و کارگاه‌ها و غیره می‌باشد[۹]. هم‌چنین با افزایش جمعیت و تولید بیشتر استفاده از منابع طبیعی افزون‌تر می‌گردد و با وجود محدودیت‌های منابع، مشکلات محیط زیستی و انسانی بوجود می‌آید. یکی از این منابع، منابع آبی هستند که با وجود بحران کم‌آبی در دهه‌های اخیر بسیاری از کشورها را با مشکلات جدی روبه‌رو کرده است. در حال حاضر محققان سه نوع ردپای اکولوژیک، زمین، آب و کربن را محاسبه می‌نمایند. در رد پای اکولوژیک زمین، معلوم می‌شود در یک اقتصاد چه مقدار از زمین استفاده می‌شود و تراز

[۱] Organization for Economic Co-operation and Development

www.SID.ir

بوم‌شناختی زمین مشخص می‌گردد. در ردپای اکولوژیک آب، مقدار آب مصرفی مستقیم و غیرمستقیم برآورد می‌گردد [۱۰]. ردپای کربن در گذشته به صورت "مجموعه کل گازهای گلخانه‌ای خروجی ناشی از یک سازمان، یک رخداد، یک محصول یا یک شخص" تعریف می‌شد. اما از آنجایی که محاسبه میزان کل ردپای کربن به خاطر مقدار زیاد داده‌های مورد لزوم و این حقیقت که دی اکسید کربن بوسیله رویدادهای طبیعی هم تولید می‌شود، ناممکن است، این تعریف جدید برای ردپای کربن پیشنهاد شده است :" مقیاسی از مقدار کل خروجی دی اکسید کربن و متانول مربوط به یک جمعیت، سیستم یا فعالیت معین با در نظر گرفتن همه منابع، فرونشین‌ها، ذخیره‌شدن‌ها در محدوده زمانی و مکانی آن جمعیت، آن سیستم یا فعالیت"[۱۱].

۳-۱ هزینه‌های محیط زیستی تولید برق

هزینه خارجی یک اثر بیرونی است که در اثر فعالیت اقتصادی و یا اجتماعی یک گروه از افراد یا شخص ایجاد می‌شود و روی گروه دیگر اثر می‌گذارد در حالیکه این اثرات به طور کامل محاسبه نمی‌شوند و یا غرامتی بوسیله گروه اول پرداخت نمی‌شود. آلودگی که در نتیجه تولید برق ایجاد می‌شود یک هزینه خارجی است، بخاطر اینکه صدماتی را در ارتباط با آن روی جامعه و محیط زیست ایجاد می‌کند درحالیکه در داد و ستدهای بازاری منعکس نمی شود [۱۲]. به عبارتی دیگر در بخش انرژی کشور، هزینه‌های خارجی در واقع هزینه‌هایی هستند که به جامعه و محیط زیست در اثر تولید، انتقال، تبدیل و مصرف انرژی تحمیل می‌گردند ولی در قیمت کالا یا خدمات ملحوظ نمی‌گردند. آب لازم برای تولید انرژی، برروی میزان آب در دسترس تاثیر می‌گذارد، برای مثال ذخیره آب در مخازن نیروگاه‌های برقآبی، به مدت طولانی می‌تواند برروی مصارف پایین دست آن نیروگاه و بوم‌سامانه پیرامون نیروگاه تاثیر گذارد، همچنین کیفیت آب به صورت فیزیکی و شیمیایی تحت تاثیر قرار می‌گیرد، از طرف دیگر مقدار آب در دسترس می‌تواند به مثابه ریسکی برای طرح‌های انرژی تلقی شود که نیاز به مقادیر زیادی آب دارند [۱۳]. عدم توجه به هزینه‌های محیط زیستی تولید برق باعث ایجاد آثار مخرب بر منابع مورد استفاده می‌گردد و به عنوان نیرویی محرک، سیستم تولید برق را به سوی ناپایداری سوق می‌دهد. به نظر می‌رسد برآورد هزینه‌های محیط زیستی و لحاظ کردن آن در هزینه نهایی تولید برق گامی است به سوی شفاف‌سازی فرایند قیمت‌گذاری کالا و خدمات در بخش انرژی که زمینه علمی لازم برای حرکت به سوی قیمت‌گذاری مبتنی بر بازار در مورد مصرف برق کشور فراهم می‌شود [۱۴]. وارد کردن هزینه‌های تولید برق رویکردی است که می‌توان آن را به عنوان شاخص مقایسه‌ای جهت ارزش‌گذاری اقتصادی تعیین کرده و هزینه‌های اجتماعی را منعکس کند[۵]. در تحقیقی، هزینه‌های محیط زیستی تولید برق در کشور ایران مورد بررسی واقع گردید[۱۵]. در این تحقیق ارزش منابع آب، زمین، پوشش گیاهی و ... مد نظر قرار گرفت. بر اساس نتایج هزینه تولید برق از نیروگاه‌های بخاری، گازی، چرخه ترکیبی و دیزلی به ترتیب ۱۵۲/۸، ۱۵۷ و ۲۱۱/۴ ریال در هر کیلووات ساعت می‌باشد، اما با در نظر گرفتن هزینه اجتماعی تولید برق که خود تابعی از هزینه تولید و هزینه‌های محیط زیستی است، به ترتیب برابر ۱۸۵، ۱۸۳ و ۲۵۳/۸ ریال در هر کیلووات ساعت می‌باشد [۱۵]. هزینه اجتماعی تولید برق با استفاده از رابطه‌ی (۱) و (۲) در تحقیق یادشده محاسبه شده است.

$$SC = (PC \times EC) \qquad (۱)$$

که در رابطه (۱) :

SC = هزینه اجتماعی

EC = هزینه واقعی تولید انرژی الکتریکی

PC = هزینه خارجی

و هزینه خارجی خود نیز تابعی از هزینه کنترل آلودگی و مقدار آلودگی باقی‌مانده است. رابطه (۲) را نیز می‌توان به‌صورت ذیل مطرح کرد [۱۵].

$$PC = UP \times PCC \qquad (۲)$$

که در رابطه (۲) :

PC = هزینه خارجی

UP = مقدار آلودگی باقی‌مانده (ناشی از ناکارایی تجهیزات کنترل آلودگی)

PCC = هزینه کنترل آلودگی

قیمت برق در ایران مانند سایر کشورها، فقط شامل بخشی از هزینه‌های خصوصی تولید برق است و از اثرات خارجی اقتصادی در آن صرفه نظر شده است. در تحقیقی هزینه‌های خارجی SO_2 و NO_2 منتشره از نیروگاه برق شهید رجایی محاسبه شده است[۱۶]. سوخت‌های مصرفی این نیروگاه به‌ترتیب برای واحد سیکل ترکیبی، گاز طبیعی و گازوئیل و برای واحد بخاری، گاز طبیعی، مازوت و گازوئیل است. برای محاسبهٔ هزینهٔ خارجی، میزان SO_2 و NO_2 منتشره درهمهٔ فصول سال با مقادیر استاندارد مقایسه می‌شوند. برای اندازه‌گیری گازهای آلاینده خروجی از دودکش SO_2 و NO_2، از دستگاه سنجش TESTO استفاده شد. برای محاسبهٔ انتشار این آلاینده‌ها از دودکش نیروگاه، از نرم‌افزار SCREEN که بر اساس مدل گوس طراحی شده، استفاده گردیده است . برای انجام این کار از اطلاعات هواشناسی (سرعت باد، دمای هوا) و همچنین اطلاعات و مشخصات دودکش، سرعت و مقدار گاز خروجی استفاده شده و بعد از انجام محاسبات، نحوهٔ انتشار و میزان SO_2 و NO_2 ، در اطراف محوطهٔ نیروگاه برای فواصل ۵۰۰ الی ۵۰۰۰ متری از دودکش در شرایط عادی، حداکثر بار، بحرانی و کلاس‌های محتمل هوا در چهار فصل سال تعیین شد. واحد سیکل ترکیبی به‌دلیل استفادهٔ کم از سوخت گازوییل و پایین بودن غلظت دی اکسید گوگرد و دی اکسید نیتروژن از استاندارد بین‌المللی هوای آزاد فاقد هزینهٔ خارجی قابل ملاحظه بوده است، در حالیکه در واحد بخاری نیروگاه، غلظت آلاینده‌های SO_2 و NO_2 منتشره در بعضی از فصول سال و شرایط بالا است. در این پژوهش هزینه‌های اجتماعی برابر است با مجموع هزینه‌های خارجی و خصوصی که نحوه محاسبه آن در رابطه (۳) و (۴) آورده شده است[۱۷].

$$SC = PC + EC \qquad (۳)$$

SC = هزینه اجتماعی

www.jrenew.ir..... /..... info@jrenew.ir

www.SID.ir

هزینه خارجی = PC

هزینه تولید برق = EC که خود تابعی از مجموع هزینه خصوصی و صدمات وارده به محیط زیست و سلامت انسان است. (EC = C + D)

هزینه خصوصی برابر است با:

$$C = (F+M+I)/E \quad (۴)$$

هزینه‌های خصوصی نیروگاه = C

هزینه سوخت مصرفی = F

میزان تولید برق در یک دوره زمانی معین = E

همانطور که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود، غلظت SO_2 منتشره در دو فصل پاییز و زمستان و در دو شرایط عادی و حداکثر بار ، بالاتر از استاندارد ۲۴ ساعته (۳۶۵ میکروگرم بر متر مکعب) است و با توجه به اثرات منفی آن روی سلامتی انسان (بدتر شدن ناراحتی‌های تنفسی در شرایط کوتاه مدت و بروز علائم و عوارض تنفسی نظیر برونشیت مزمن در طولانی مدت)، حداقل و حداکثر هزینه‌های خارجی منفی آن معادل ۱۲۴/۱۵۱ و ۱۳۷/۹۱۸ و ۲۰۳/۲۲۶ و ۲۱۸/۰۰۰ ریال بر کیلووات ساعت برآورد شده است، که این مقدار در فاصلهٔ ۳ کیلومتری از منبع انتشاراست. NO_2 منتشره در چهار فصل، عاری از هزینهٔ خارجی بوده و فقط در شرایط بحرانی از هزینهٔ خارجی بالایی برخوردار است، که در شرایط عادی و حداکثر بار معادل ۱۵ و ۲۳ ریال بر کیلو وات ساعت محاسبه شده است [۱۶].

جدول ۱ هزینه‌های خارجی گاز SO_2 و NO_2 در شرایط عادی، حداکثر بار و بحرانی[۱۶]

فصول سال	هزینه خارجی (ریال بر کیلووات ساعت)			
	شرایط عادی		شرایط حداکثر بار	
	SO_2	NO_2	SO2	NO2
پاییز	۱۲۴/۱۵۱	-	۲۰۳/۲۲۶	-
زمستان	۱۳۷/۹۱۸	-	۲۱۸/۰۰۰	-
شرایط بحرانی	-	۱۵	-	۲۳
جمع کل	۲۷۶/۰۶۹		۴۴۴/۲۲۶	

در پژوهشی دیگر، محقق با درک اهمیت هزینه‌های خارجی نیروگاه‌های تولیدکننده برق، به ارائه روش‌شناسی برای ارزیابی هزینه‌های خارجی در این حوزه می‌پردازد و هم‌چنین برخی از نتایج تجربی سایر کشورهای جهان را ارائه می‌دهد. بررسی هزینه‌های خارجی تولید برق در کشورهای مختلف نشان می‌دهد که با توجه به شرایط تکنولوژی هر کشوری، هزینه‌های خارجی تولید برق متفاوت است. بررسی هزینه‌های خارجی نیروگاه‌های مختلف برق، در کشورهای مختلف اروپایی، هر کیلووات برق را بر حسب سنت آمریکا، ارائه می‌دهد که بر اساس آن، هزینه‌های خارجی نیروگاه‌های ذغالی بین ۲ تا ۱۵ سنت بر کیلووات ساعت در نوسان است در حالی که این هزینه‌ها برای نیروگاه‌های نفتی مابین ۳ تا ۱۱، نیروگاه‌های زیست‌توده بین ۰/۲ تا ۵، نیروگاه‌های آبی ۰/۰۳ تا ۱، نیروگاه‌های بادی ۰/۰۵ تا ۰/۲۵ و نیروگاه های هسته‌ای ۰/۲ تا ۳ سنت آمریکا در هر کیلووات ساعت، متغیر می‌باشد. بر این اساس نتیجه گرفته می‌شود که نیروگاه‌های آبی، بادی و هسته‌ای، هزینه‌های خارجی اندکی نسبت به نیروگاه‌های گازی، نفتی، ذغالی و زیست‌توده دارند[۱].

هم‌چنین در تحقیقی هزینه‌های خارجی تولید برق از نیروگاه‌های فسیلی در ایران بررسی گردید. هدف از این تحقیق بدست آوردن هزینه‌های خارجی نیروگاه‌های فسیلی بر اساس ضرایب EPA ، بانک جهانی و سازمان حفاظت محیط زیست در سال ۱۳۸۳ بوده‌است. انواع نیروگاه‌های فسیلی که در ایران به امر تولید برق می‌پردازند شامل نیروگاه بخاری، نیروگاه گازی، نیروگاه سیکل ترکیبی و نیروگاه‌های دیزلی می‌باشند. این نوع نیروگاه‌ها به دلیل استفاده از سوخت‌های فسیلی، آلاینده‌هایی را به محیط متصاعد میکنند. این آلاینده‌ها باعث صدماتی به کشاورزی، گیاهان، آبزیان و سلامت انسان میشود. در این تحقیق، محقق به مقایسه‌ی انتشار گازهای آلاینده، میزان برق تولیدی و سوخت مصرفی در این نوع نیروگاه‌ها پرداخته است. نتایج نشان داد که هزینه‌های خارجی نیروگاه‌های سیکل ترکیبی به دلیل استفاده ترکیبی از سوخت گاز طبیعی و گازوئیل در مقایسه با سایر نیروگاه‌ها از مقادیر کمتری برخوردار است و از طرفی راندمان بالایی دارد. بنابر نظر محقق، با توجه به نیاز روزافزون به مصرف انرژی و افزایش جمعیت و بالا رفتن سطح تکنولوژی‌ها، نیاز است احداث نیروگاه‌ها با تکنولوژی‌های جدید و راندمان بالا در کشور توسعه پیدا کند [۱۸].

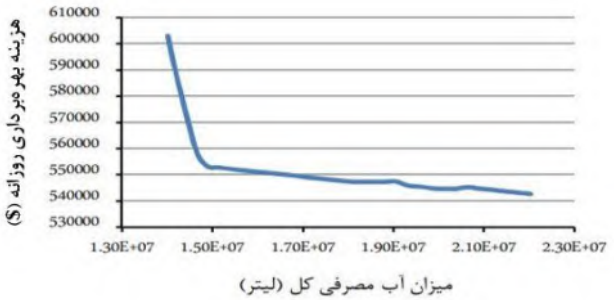
۳-۲ هزینه‌های مصرف آب

مصرف آب در صنعت باعث علاقه‌مند شدن پژوهشگران به بررسی این موضوع خصوصا در مناطق خشک گردیده است [۱۹]. همواره حجم عمده‌ای از آب‌های زیرزمینی در صنایع مختلف مصرف می‌شوند. از جمله ی این صنایع نیروگاه‌های تولید برق می‌باشند که هر روزه برای تولید انرژی الکتریکی حجم قابل توجهی از آب را مصرف می‌کنند [۲۰]. با توجه به اهمیت آب، در زندگی انسان‌ها و حفظ محیط زیست، پژوهشی با استفاده از ماتریس حسابداری اجتماعی در سال ۱۳۹۰ به مطالعه اثرات مصرف واسطه‌ای بخش‌های اقتصادی بر رد پای اکولوژیک آب در ایران می‌پردازد. در این تحقیق ردپای آب آبی ۸۶ بخش اقتصادی تحلیل می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که از کل رد پای آب داخلی و وارداتی مصرف واسطه بخش‌های اقتصادی در سال ۱۳۹۰ که معادل ۹۷/۷ میلیارد متر مکعب است به ترتیب بخش‌های گندم، گاو و گاومیش، گوسفند، بز و... بیشترین ردپای داخلی و وارداتی را دارند و ۶۶ درصد از رد پای آب کل بخش‌های اقتصادی را به خود اختصاص داده‌اند. بخش تولید برق با ۰/۹ میلیارد متر مکعب در میانه‌ی این رده‌بندی قرار دارد [۱۰].

در مقاله‌ای، روشی برای بررسی اثر میزان مصرف آب بر روی هزینه‌ی بهره برداری در سیستم‌های قدرت پیشنهاد شده است[۲۰]. آب مصرفی هر

www.SID.ir

نیروگاه با توجه به ساختار و نوع سوخت مصرفی، متفاوت خواهد بود. در این مقاله، با استفاده از مدل محاسبه ی آب مصرفی نیروگاه های مختلف و وارد کردن میزان مصرف آب نیروگاه‌ها در مسئله‌ی برنامه‌ریزی مشارکت واحدهای تولید با قیود امنیتی، علاوه بر حداقل کردن هزینه تولید واحدها، اثر میزان آب مصرف شده در نیروگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. این روش خطی بوده و در نهایت روند اثر کاهش مصرف آب در تولید برق بر روی هزینه های اضافی تحمیل شده در بهره‌برداری از شبکه برق را به تصویر می‌کشد. در این مطالعه با معرفی و وارد کردن محدودیت‌های مربوط به مصرف آب در واحدهای تولید، در مسئله برنامه‌ریزی تولید نیروگاه‌ها مشاهده می‌شود که مقدار توان تولیدی یا برق خریداری شده از نیروگاه‌هایی که آب کمتری مصرف می‌کنند افزایش می‌یابد و نیروگاه‌هایی که آب بیشتری مصرف می‌کنند، توان کمتری از آن‌ها خریداری می‌شود. به این ترتیب بهره‌بردار سیستم می‌تواند با گران کردن برق تا هر اندازه در مصرف آب صرفه جویی کند. در انتها با ارائه یک مورد مطالعاتی صحت روش پیشنهادی به صورت آزمایشی اثبات شده است. در شکل ۱ نشان داده شده است که هرچه میزان آب مصرفی کمتر باشد هزینه بهره‌برداری افزایش می‌یابد تا جایی که دیگر کاهش مصرف آب به صرفه نبوده و حداکثر آب صرفه جویی شده در سیستم که منجر به تغییر ناچیز در هزینه‌های بهره‌برداری می‌شود به دست می‌آید[۲۰].



شکل ۱ اثر صرفه‌جویی در مصرف آب روی هزینه بهره‌برداری[۲۰]

مقاله‌ای دیگر که به مرور مراجع دیگر پرداخته است، میزان مصرف آب در انواع مختلف نیروگاه‌ها با تکنولوژی‌های متفاوت را بررسی می‌کند. در این مقاله همه انواع نیروگاه اعم از سنتی و تجدیدپذیر مورد مطالعه قرار گرفته است و مشخص شده است که استفاده از تکنولوژی‌های تجدیدپذیری از قبیل نیروگاه‌های فتوولتائیک و بادی بهترین گزینه برای کاهش مصرف آب در تولید انرژی الکتریکی می‌باشند [۱۹].

۳-۲-۱ معرفی انواع سیستم‌های خنک کننده و مصرف آب

بخش اعظمی از آب مصرفی نیروگاه‌ها در بخش مربوط به خنک کننده‌ها مصرف می‌شود. سیستم خنک کننده وظیفه انتقال حرارت بخار خروجی توربین به محیط را دارد. میزان این حرارت نیز به عواملی نظیر بازده، تکنولوژی و میزان توان تولید شده بستگی دارد. رایج‌ترین سیستم‌های خنک کننده به کار رفته در نیروگاه‌ها سیستم‌های یکبارگذر و سیستم‌های مدار بسته هستند. که در ادامه به توضیح اجمالی این سیستم‌ها پرداخته می‌شود.

الف) سیستم خنک کننده یکبار گذر : در این نوع سیستم‌ها آب از یک منبع طبیعی مانند دریاچه، رودخانه و یا دریا گرفته می‌شود و به وسیله پمپ در لوله‌های چگالنده جریان یافته، ضمن عبور از لوله گرم شده و سپس به همان منبع تخلیه می‌شود. بنابراین تقریبا تمام حرارت اضافی توسط آب دریافت شده و به منبع آب انتقال می‌یابد. این روش ترمودینامیکی از موثرترین روش دفع گرما به شمار می رود. با این حال به دلیل مصرف قابل توجه آب در این روش، در شرایطی که منبع آب به اندازه کافی در دسترس نیست یا مصرف آب توسط مقررات محیط زیستی محدود شده است، استفاده از سیستم‌های مدار بسته ناگزیر است.

ب) سیستم‌های بسته: آب در سیستم‌های مدار بسته از چگالنده گرفته می‌شود و پس از گذشتن از دستگاه خنک‌کن دوباره به چگالنده باز می‌گردد. سیستم مدار بسته نسبت به سیستم یکبار گذر به آب بسیار کمتری نیاز دارد و در مقابل ملزم به سرمایه‌گذاری بیشتر، هزینه بهره‌برداری بیشتر و فضای بیشتری است. برج‌های خنک کننده در سیستم بسته به دو نوع کلی تر و خشک تقسیم می‌شود. در سیستم بسته با برج خنک کننده تر آب گرم به طور یکنواخت به برج خنک کننده تزریق می‌شود، پس از مخلوط شدن آب گرم و هوا عمل تبخیر شدت گرفته و آب سرد و بخار آب از هم جدا می‌شوند. آب سرد از برج خنک کننده به سمت چگالنده هدایت می‌شود. بین دستگاه خنک‌کن و چگالنده نیز، منبعی برای تامین اتلاف آب تبخیر شده در فرایند خنک شدن تعبیه می‌شود. درحالی که در برج خنک کننده خشک آب گرم ورودی به برج از داخل یک سری لوله‌هایی می‌گذرد که از روی آن‌ها هوای خنک عبور می‌کند. به این ترتیب گرمای آب به هوای خنک‌کن انتقال می‌یابد. در این سیستم آب مصرفی در این مرحله صفر است[۲۰].

در تحقیقی با تاکید بر رد پای آب در تولید برق، مصرف آب در نیروگاه‌های حرارتی مورد بررسی قرار گرفت[۲۱]. موضوع مصرف آب در نیروگاه‌ها به ویژه در مناطقی که با کمبود آب روبرو هستند بسیار حائز اهمیت است. از دست‌آوردهای این تحقیق می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

۱) در فرآیند تولید برق در نیروگاه‌ها آب برداشت شده[۱] از حوضه (آبی که از حوضه برداشت می‌شود و پس از مصرف دوباره به محیط اولیه باز می‌گردد) معمولا بسیار بیشتر از آب مصرفی[۲](آبی که در فرآیند مصرف شده و به محیط باز نمی‌گردد) می باشد. در امریکا نیروگاه‌های حرارتی حدودا ۴۰ درصد از منابع آب شیرین را برداشت می‌کنند اما تنها ۳ درصد از آب شیرین مورد مصرف واقع می‌شود و باقی آن به حوضه بازگشت داده می‌شود.

۲) در بیشتر موارد در نیروگاه‌های حرارتی مصرف آب در بخش خنک‌کاری به حداکثر خود می‌رسد، بنابراین نوع سیستم خنک‌کننده بر مصرف آب بسیار

[۱] Withdrawal
[۲] Consumption

www.SID.ir

تاثیرگذار است. سیستم‌های خنک‌کننده متنوع دارای نقاط قوت و ضعفی هستند. در اکثر نیروگاه‌ها به خصوص نیروگاه‌های قدیمی از سیستم خنک‌کننده یک‌بار گذر و برج خنک‌کننده تر استفاده می‌شود. این در حالی است که نوع خنک‌کننده‌ها قطعا در آینده تغییر خواهندکرد.

۳) در میان نیروگاه‌هایی با سیستم‌های خنک‌کننده یکسان، مصرف آب جهت خنک‌کاری کاملا متاثر از نرخ گرمای حاصل (صرف نظر از نوع سوخت مصرفی) می‌باشد. نرخ گرمای پایین‌تر به این معنا است که میزان گرمای آزاد شده از نیروگاه در فرآیند تولید برق پایین می‌باشد. در نتیجه در فرآیند خنک‌کاری به آب کمتری به ازای هر مگاوات ساعت برق تولیدی مورد نیاز است.

۴) محدودیت در منابع آبی می‌تواند منجر به ایجاد انگیزه و نوآوری در زمینه کاهش مصرف آب در نیروگاه‌های تولید برق شود. برای مثال طراحی سیستم‌های خنک‌کننده ترکیبی که می‌توانند مصرف آب را به حداقل رسانند و یا استفاده مجدد از گرمای حاصل از تولید برق و یا کاهش مصرف آب شیرین و جایگزین نمودن فاضلاب شهری به جای منابع آب شیرین [۲۱].

در گزارشی ضریب مصرف و برداشت آب برای تکنولوژی‌های تولید برق در کشور امریکا تخمین زده شده است. یافته‌های عمده این گزارش شامل موارد زیر است. میزان برداشت و مصرف آب در تکنولوژی‌های سوختی مختلف بسیار متفاوت است اما باید اظهار نمود که انواع سیستم‌های خنک کننده تاثیر بیشتری نسبت به تکنولوژی‌های خاص مربوط به تولید برق دارد، سیستم خنک کننده یکبارگذر ۱۰-۱۰۰ برابر بیشتر نسبت به خنک‌کننده برج تر در واحد تولید برق آب مصرف می‌کند، در خنک کننده‌های با سیستم بسته مصرف آب برای برج خنک کننده خشک درنیروگاه‌های انرژی خورشیدی، زیستی و سیکل ترکیبی گاز نسبت به خنک کننده برج تر کمتر است. تکنولوژی‌های خورشیدی و تاسیسات زغال سنگ با قابلیت جذب و تجزیه کربن، هنگام استفاده از یک سیستم خنک کننده بسته بیشترین مقدار مصرف آب را دارند. هم‌چنین مصرف آب برای تکنولوژی‌های تولید برق تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر بسیار متفاوت است، انرژی‌های تجدیدپذیر غیر حرارتی مانند فتوولتائیک و باد دارای کمترین مصرف آب می‌باشند [۲۲]

۴- انرژی های تجدیدپذیر

در حال حاضر، بیش از ۸۱ درصد کل انرژی مصرفی جهان و بیش از ۹۵ درصد انرژی مصرفی در ایران را سوخت‌های فسیلی تامین می‌کند [۶]. مصرف این نوع سوخت‌ها باعث تولید گازهای سمی و آلوده‌کننده هوا، بارش باران‌های اسیدی و در نتیجه آلودگی رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آب‌های زیرزمینی و بالاخره بالا رفتن میزان گازکربنیک موجود در اتمسفر زمین شده است. از طرف دیگر به دلیل رشد مصرف انرژی و استفاده بی‌رویه از منابع انرژی فسیلی و هم‌چنین پایان‌پذیر بودن منابع تفتی و گازی کشور می‌بایست از هم‌اکنون به فکر انرژی‌های جایگزین بود. برای کاهش آلودگی‌های ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و استفاده بهینه از نفت، گاز و زغال‌سنگ لازم است به انرژی خورشیدی، زمین گرمایی، زیست‌توده و بادی که منبع لایزال و سازگار با محیط است، توجه بیشتری شود، زیرا دریافتی انرژی از این منابع در ایران بالا و تکنولوژی استفاده از آن ساده است، به طوری که می‌توان بسیاری از نیازهای انرژی کشور را با استفاده از این منابع تامین کرد [۶]. لازم به ذکر است که کشور ایران در حدود ۹۰ درصد دارای پتانسیل انرژی زمین گرمایی است[۲۳].

در صورتی که ۱۷۵/۲ تراوات ساعت برق به‌وسیله سوزاندن هر کدام از سوخت‌های فسیلی تولید شود، مقادیر زیادی دی‌اکسید کربن وارد جو می‌شود، برای مثال به ازای سوزاندن هر تن زغال سنگ، ۲/۸۶ تن دی‌اکسید کربن تولید می‌شود [۲۴]. بنابراین با توجه به لازم بودن $۸/۱۸۵\times۱۰^{۷}$ تن زغال سنگ برای تولید مقداربرق گفته شده، در صورت استفاده از زغال سنگ ۲۳۴/۰۹۱ مگاتن دی‌اکسید کربن وارد جو خواهد شد [۲۴]، بر اساس ترازنامه انرژی کشور شاخص انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای بخش نیروگاهی به شرح جدول ۲ می‌باشد.

جدول ۲ شاخص انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای بخش نیروگاهی کشور در سال ۱۳۹۴[۲۵]

گازهای خروجی (گرم بر کیلووات‌ساعت)	بخاری	گازی	سیکل ترکیبی	دیزلی	هزینه‌های اجتماعی (هزار ریال بر تن)
CO_2	۷۶۲/۲۵	۸۲۲/۴۷	۳۵۲/۳۱	۸۳۹/۰۸	۸۰
NO_X	۲/۳۲۳	۱/۹۴	۲/۷۱۸	۱/۵۴۹	۴۸۰۰
SO_2	۵/۵۳	۰/۳۴	۰/۱۱۶	۴/۶۷۵	۱۴۶۰۰
CO	۲/۲۱	۰/۰۷	۰/۰۹۹	۰/۰۰۱	۱۵۰۰

در مقاله‌ای به منظور حداکثر کردن رفاه اجتماعی، یک مدل کنترل بهینه طراحی و با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک، مسیرهای بهینه جایگزینی انرژی خورشید و باد به جای سوخت‌های فسیلی در طی زمان در ایران ترسیم شده است [۶]. نتایج نشان می‌دهد که سهم انرژی‌های خورشیدی و بادی در بخش‌های مختلف طی سال‌های آتی افزایش می‌یابد و با تکنولوژی موجود و عدم تغییر هزینه تبدیل انرژی خورشید و باد و در نظر گرفتن نرخ تنزیل اجتماعی پنج درصد، انتقال از انرژی‌های فسیلی به سمت انرژی خورشیدی و بادی در سال ۱۴۶۶ (۷۷ سال پس از سال مبنا) و با فرض کاهش ۵۰ درصدی هزینه تبدیل انرژی خورشید و باد در هر ده سال، این انتقال در سال ۱۴۰۹ (۲۰ سال پس از سال مبنا) می‌بایست صورت پذیرد [۶].

افزایش انتشار گازهای گلخانه ای و لزوم اتخاذ سیاست‌های مناسب جهت کاهش آن و هم‌چنین ضرورت دستیابی به رشد اقتصادی بالاتر در کشورهای در حال توسعه، توجه اکثر کشورها را به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر سوق

www.SID.ir

داده است. در واقع انرژی‌های تجدیدپذیر یک را حل مناسب برای دستیابی به توسعه پایدار تلقی می‌شود. بنابراین با هدف بررسی تاثیر افزایش مصرف انرژی تجدیدپذیر، بر تولید ناخالص داخلی (GDP)[1] و انتشار گاز دی اکسید کربن مطالعه‌ای صورت گرفته است. بر این اساس با استفاده از داده‌های سری زمانی ایران (۲۰۱۲-۱۹۸۰) و با روش الگوی خود رگرسیون ساختاری (SVAR)[2] به تحلیل رابطه پویا میان سه متغیر انرژی تجدیدپذیر، رشد اقتصادی و انتشار کربن دی اکسید پرداخته شده است. این روش به روابط متقابل همه متغیرها توجه داشته و نیز قادر به پیش‌بینی اثرات عملکرد سیاست‌ها و تغییرات مهم اقتصادی است. نتایج حاصل از براورد الگوی ساختاری خودهمبسته برداری نشان می‌دهد که شوک مثبت در مصرف انرژی تجدیدپذیر با ضریب مثبت بر تغییرات رشد اقتصادی اثر می‌گذارد. از آن جایی که انرژی به عنوان نیروی محرکه‌ای در جریان رشد و توسعه اقتصادی است، بنابراین انتظار می‌رود که چنین رابطه مثبتی برقرار باشد. اما برخلاف انتظار ملاحظه شد که شوک مثبت در مصرف انرژی تجدیدپذیر با ضریب مثبت بر انتشار کربن دی اکسید اثر گذاشته و شاهد آن هستیم که در اقتصاد ایران استفاده از انرژی تجدیدپذیر موجب کاهش در انتشار کربن دی اکسید نشده است، می‌توان دلیل این امر را در سهم پایین این نوع از انرژی در سبد کل انرژی کشور جستجو کردکه با وجود ظرفیت بالای منابع تجدیدپذیر در ایران، استفاده بسیار محدودی از این منبع انرژی صورت گرفته و نیز از طرفی تکنولوژی ضعیف و قدیمی در روند تولید داخل منجر به انتشار بیشتر دی اکسید کربن در استفاده بیشتر انرژی شده است و همین امر می‌تواند عامل مهمی در خنثی شدن اثر مثبت استفاده از منابع تجدیدپذیر شود [۲۶]. رتبه ایران در سال ۲۰۱۷ از نظر تولید گاز دی اکسید کربن هفتم دنیا بوده است[۲۸].

در پژوهشی بهره‌برداری از منابع انرژی تجدیدپذیر و منابع آب در کشور تایوان مورد مطالعه قرار گرفت[۲۹].

با توجه به تغییر اقلیم جهانی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در سراسر جهان رواج یافت. در سال ۲۰۱۶ در کشور تایوان ظرفیت کل برق موجود ۴۹/۹ گیگاوات بوده است و از این مقدار کمتر از ۲ گیگاوات مربوط به ظرفیت‌های انرژی باد و خورشید بوده است. برنامه‌ای در جهت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر توسط دولت تایوان تا سال ۲۰۲۵ تنظیم گردید، در این برنامه تولید برق کل ظرفیت انرژی خورشیدی ۲۰ گیگاوات ، انرژی باد ۴/۲ گیگاوات ، نیروی برق آبی ۲/۱۵ گیگاوات ، انرژی زیست‌توده ۰/۸۱۳ گیگاوات و انرژی زمین‌گرمایی ۰/۲ گیگاوات در نظر گرفته شده است. تغییرات اقلیمی نه تنها بر سیاست‌های انرژی بلکه بر موضوع آب نیز تاثیر می‌گذارد. توپوگرافی تایوان به گونه‌ای است که در آن واکنش‌ها بسیار سریع، رودخانه‌ها کوتاه و رسوبات مخازن به‌دلیل طوفان‌های سالیانه بسیار زیاد می‌باشد. افزایش شدت و کاهش فرکانس بارش‌های ناشی از تغییر اقلیم ذخیره‌سازی آب را بسیار دشوار ساخته‌است، علی رغم وجود بارش کافی سالانه این کشور با مشکلاتی جهت تامین تقاضای آب رو به رو بوده‌است. تغییر اقلیم همراه با توپوگرافی نامناسب برای ذخیره ی آب، مشکل کمبود آب را تشدید می کند. به عنوان یک راه حل از موضوعات فوق مربوط به منابع انرژی تجدید پذیر و منابع آب یک سیستم یکپارچه و مدل عملیاتی برای منابع انرژی تجدید پذیر و منابع آب مانند نیروهای آب، مخازن پمپی، انرژی خورشیدی، انرژی بادی، گیاهان آب شیرین کن در نظر گرفته شده است. در این تحقیق برای توصیف عملکرد سیستم یک مدل ریاضی تحت انواع داده‌ها معرفی شده‌است. نتایج حاصل از مدل نشان داد که با تکمیل واحدهای قدیمی موجود و اضافه کردن واحدهای جدید ۱۰۲ مگاواتی، سیستم پیشنهادی می‌تواند نیاز ۸۵۳ مگاوات که توسط نیروگاه‌های گازی تولید می‌شد را تامین کند. بدین صورت هزینه ۴۵ میلیون دلاری در سال برای تولید انرژی می‌تواند ذخیره شود. با اضافه کردن نیروگاه های مخزن-پمپی[3] ۱۰۹۳ مگاوات انرژی اضافه تولید می‌شود که می‌تواند موجب ذخیره‌ی ۱۶۶ میلیون دلار در سال شود [۲۹].

۵- بررسی تعرفه خرید برق تجدیدپذیر در ایران

اولین و موفق‌ترین مکانیزم توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در سراسر دنیا خرید تضمینی برق تولید شده از منابع انرژی تجدیدپذیر است، زیرا سرمایه‌گذار بخش خصوصی می‌تواند بابت مبلغ فروش برق مطمئن باشد و محاسبات امکان‌سنجی مالی و اقتصادی را انجام دهد که آیا سرمایه‌گذاری در این بخش به صرفه است یا خیر. در ایران اولین تعرفه خرید تضمینی برق تجدیدپذیر با هدف توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۱۳۸۷، طبق مصوبه هیئت وزیران به شماره ۱۴۲۵۵۱/ت۴۱۱۱۳هـ مورخ ۱۳۸۷/۸/۱۵، پایه نرخ خرید برق از نیروگاه‌ها و تولیدکنندگان بخش‌های خصوصی که طبق ماده ۶۲ قانون تنظیم بخشی از مقررات مالی دولت دارای قرارداد خریدتضمینی برق تجدیدپذیر شده، جهت عقد قرارداد پنج ساله تعیین و ابلاغ شد. شواهد نشان می‌دهد که تعرفه و قیمت پایه خرید تضمینی برای سرمایه‌گذار خصوصی جذاب نبوده است دلیل آن عدم تمایل سرمایه‌گذار بخش خصوصی برای سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد. پنج سال بعد بر اساس دستورالعمل بند ب ماده ۱۳۳ قانون برنامه پنج ساله پنجم جمهوری اسلامی ایران و رویه تعیین نرخ خرید تضمینی برق از منابع تجدیدپذیر نرخ پایه برای عقد قرارداد به شرح ذیل: متوسط قیمت تبدیل انرژی در بازار برق به ازای هر کیلووات ساعت + ارزش سوخت صرفه‌جویی شده به ازای ترکیب سوخت مایع به ازای هر کیلووات ساعت + ارزش صرفه‌جویی ناشی از عدم انتشار آلاینده‌ها به ازای هر کیلووات ساعت محاسبه شد و قیمت پایه و نرخ تعرفه خرید تضمینی برق از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر ۱۷/۷۷ سِنت بر کیلووات ساعت تعیین و ابلاغ شد.

در تحقیقی با هدف جلب سرمایه‌گذار بخش خصوصی و به تبع آن افزایش سهم برق تجدیدپذیر در سبد انرژی ایران، تحقق انرژی پایدار و توسعه

[1] Gross domestic product

[2] Structural Vector Autoregressive

[3] pumped-storage hydropower

www.SID.ir

پایدار، تعرفه‌های خرید تضمینی مجزا برای برق تجدیدپذیر هر یک از انرژی‌های خورشیدی، بادی و برق‌آبی محاسبه و تحلیل حساسیت شده است [۲۶]. در زمان انجام تحقیق (سال ۱۳۹۳)، تعرفه برق تجدیدپذیر برای تکنولوژی‌های مختلف تعرفه یکسانی بوده است،که خود مانعی برای توسعه متوازن این تکنولوژی‌ها بوده، چرا که سرمایه‌گذار تمایل بیشتر به بخشی نشان می‌دهد که سود بیشتری حاصل کند. بنابراین محقق با رویکرد توجیه‌پذیری اقتصادی و ایجاد ترغیب سرمایه‌گذار خصوصی جهت سرمایه‌گذاری با هدف توسعه متوازن تکنولوژی‌های برق تجدیدپذیر تعرفه‌های مختلفی را مطابق جدول۳ پیشنهاد داده است.

جدول ۳ تعرفه پیشنهادی محقق و نسبت سود به هزینه مربوط به منابع تجدیدپذیر در سال ۲۰۱۴ [۲۷]

	بادی	برق‌آبی کوچک	خورشیدی حرارتی
LCOE[1] (سِنت بر کیلووات‌ساعت)	۹/۴۲	۹/۴۰	۲۰/۹۶
خرید تضمینی برق[2](سنت بر کیلووات‌ساعت)	۱۷/۹۰	۱۲/۷۰	۴۳/۴۰
نسبت سود به هزینه[3]	۱/۸۴	۱/۹۱	۲/۲۷

بنابراین پیشنهاد می‌گردد با تعیین تعرفه نسبتا بالای محقق نیروگاه خورشیدی حرارتی مورد توجه بیشتر قرار گیرد تا با افزایش ظرفیت نصب این نوع نیروگاه و رشد صنعت مربوطه، هزینه‌های سرمایه‌گذاری آن نیز کاهش یافته و در آینده به عنوان یک نامزد برای تولید برق ارزان مطرح شود [۲۷].

سپس مصوبه‌ای با موضوع "ابلاغ نرخ خرید تضمینی برق از نیروگاه‌های تجدیدپذیر و پاک" مورخ ۱۳۹۵/۲/۱۹ توسط وزارت نیرو تعیین و ابلاغ گردید. در اجرای وظایف قانونی وزارت نیرو، نرخ پایه خرید تضمینی برق از انواع نیروگاه‌های غیر دولتی تولید برق از منابع انرژی تجدیدپذیر و پاک و با توجه به تکنولوژی‌های مختلف برق تجدیدپذیر، به شرح جدول ۴ ابلاغ گردید.

[1] Levelized cost of energy
[2] Tariff
[3] Benefit/Cost

جدول ۴ تعرفه خرید تضمینی برق تجدیدپذیر[۳۰]

ردیف		انواع نیروگاه	نرخ پایه خرید تضمینی برق (ریال بر کیلووات ساعت)
۱	زیست توده	لندفیل	۲۷۰۰
		هضم بی‌هوازی زائدات دامی و کشاورزی و فاضلاب	۳۵۰۰
		زباله سوز و گازی سازی زباله	۳۷۰۰
۲	مزرعه بادی	بیش از ۵۰ مگاوات	۳۴۰۰
		۵۰ مگاواتی و کمتر	۴۲۰۰
۳	مزرعه خورشیدی	۳۰ مگاواتی و کمتر	۴۰۰۰
		۱۰ مگاواتی و کمتر	۴۹۰۰
۴	زمین گرمایی	شامل حفاری و تجهیزات	۴۹۰۰
۵	آبی کوچک (۱۰ مگاواتی و کمتر)	بر روی رودخانه ها (رودخانه ای یا جریانی)	۳۸۰۰
		بر روی خطوط لوله انتقال آب و فاضلاب و تاسیسات جانبی سدها	۳۲۵۰
۶		سامانه پیل های سوختی	۴۹۴۸
۷		توربین های انبساطی	۱۶۰۰
۸		تولید برق از بازیافت تلفات حرارتی در فرایندهای صنعتی	۲۹۰۰

تغییر ساختار و خصوصی سازی صنعت برق زمانی میسر می‌شود که بخش خصوصی علاوه بر رضایت از سود حاصل، از شرایط سرمایه‌گذاری در این بخش نیز مطمئن باشد. در ایران اجرای سیاست‌حمایتی تعرفه‌گذاری و خرید تضمینی برق از سوی دولت اصلی‌ترین و مهم‌ترین ابزارهای ایجاد شرایط مطمئن سرمایه‌گذاری و جذب سرمایه‌گذار بخش خصوصی به صنعت برق می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی مفاهیمی چون هزینه‌های خارجی، هزینه‌های محیط زیستی تولید برق و لزوم جایگزینی استفاده از منابع انرژی‌های نو و تجدیدپذیر به جای منابع سوخت‌های فسیلی پرداخته شده است. بر اساس مطالعات انجام شده در زمینه هزینه‌های محیط زیستی تولید برق،

www.SID.ir

نیروگاه‌هایی که از سوخت‌های فسیلی جهت تولید برق استفاده می‌کنند متصاعد کننده آلاینده‌های مضری به محیط اطراف هستند. این آلاینده‌ها اثرات جبران‌ناپذیری بر محیط و سلامت انسان بر جای می‌گذارد که تحت عنوان هزینه‌های خارجی مطرح می‌شود. برای تولید ۱۷۵/۲ تراوات ساعت برق به روش سنتی، به $۸/۱۸۵\times۱۰^{۷}$ تن زغال سنگ نیاز است که با سوزاندن این حجم از زغال سنگ ۲۳۴/۰۹۱ مگاتن دی‌اکسیدکربن وارد جو خواهد شد. از طرفی به‌دلیل افزایش جمعیت نیاز به مصرف برق روز به روز در حال افزایش است. بنابراین جهت رفع این نیازها لازم است تمهیداتی صورت بگیرد. هزینه‌های خارجی نیروگاه‌های سیکل ترکیبی در میان سایر نیروگاه‌های تولید برق به سبک سنتی از مقدار کمتری برخوردار است. در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی شاخص گازهای آلاینده NO_x، SO_2 و CO_2 به ترتیب ۰/۷۰۵، ۰/۲۶۵ و ۴۶۷/۰۷۱ است که در مقایسه با نیروگاه‌های بخاری، گازی و دیزلی، هزینه‌های خارجی بسیار پایین‌تری دارد[۲۵]. هم‌چنین باتوجه به وجود پتانسیل‌های انرژی خورشیدی، زمین گرمایی، زیست توده و بادی در کشور ایران سهم این انرژی‌ها در بخش‌های مختلف در طی سال‌های آتی افزایش می‌یابد. کشور ایران حدود ۹۰ درصد دارای پتانسیل انرژی زمین گرمایی است. پایین‌تر بودن هزینه‌های محیط زیستی انرژی‌های تجدیدپذیر یکی دیگر از دلایل لزوم افزایش سهم این نوع منبع انرژی در سبد انرژی کشور می‌باشد، هم‌چنین لازم به ذکر است که انرژی خورشیدی و بادی دارای کم‌ترین ردپای آب نیز می‌باشند. در ایران اجرای سیاست‌حمایتی تعرفه‌گذاری و خرید تضمینی برق از سوی دولت از اصلی‌ترین و مهم‌ترین ابزارهای ایجاد شرایط مطمئن سرمایه‌گذاری و جذب سرمایه‌گذار بخش خصوصی به صنعت برق می‌باشد که تعرفه‌های خرید تضمینی برق تجدیدپذیر با توجه به تکنولوژی‌های متفاوت در جدول ۴ آورده شده است.

۶- منابع

[۱] ش. وصفی اسفستانی و ه. علیشیری، "ارزیابی هزینه های خارجی در نیروگاه های تولید برق "، *دومین کنفرانس مدیریت و بهینه سازی مصرف انرژی*، ۱۳۹۰.

[2] G. H. Bruntland, "Our Common Future Report of the World Commission on Environment," *New York*, p. 318, 1987.

[3] L. Čuček, J. J. Klemeš, and Z. Kravanja, "A review of footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability," *J. Clean. Prod.*, vol. 34, pp. 9–20, 2012.

[4] D. Dalianis, D. Petassis, M. Santamouris, A. Argiriou, C. Cartalis, and D. N. Asimakopoulos, "Social cost of electricity generation in Greece," Renew. energy, vol. 12, no. 3, pp. 281–289, 1997.

[5] P. Rafaj and S. Kypreos, "Internalisation of external cost in the power generation sector: Analysis with Global Multi-regional MARKAL model," Energy Policy, vol. 35, no. 2, pp. 828–843, 2007.

[۶] د. ع. شریفی، د. غ. کیانی، د. ر. خ. اخلاق و م. م. ب. تودشکی، "ارزیابی جایگزینی انرژی های تجدیدپذیر به جای سوخت های فسیلی در ایران: رهیافت کنترل بهینه"، تحقیقات مدلسازی اقتصادی .vol ,سال سوم , no. 11, pp. 123–140, 1392.

[7] N. E. Generation, "What Are the External Costs," Nucl. Energy Agency, OECD, 2003.

[۸] لیلا پاک گوهر، "حسابداری محیط زیست"، حسابدار .vol ,سال بیست و , no. 3, p. 52-, 1388.

[9] M. Taussing, "Environmental economic," Rutgers Univ., 2002.

[۱۰] سید کمال صادقی، زهرا کریمی تکانلو، محمد علی متفکر آزاد، حسین اصغرپور قورچی ,و یعقوب اندایش، "سنجش رد پای آب بخش های اقتصادی در ایران با رهیافت ماتریس حسابداری اجتماعی "(SAM), اقتصاد مقداری .vol ,سال یازدهم.1393 ,111–81 ,pp. 3 ,no ,

[11] M. Wackernagel and W. Rees, Our ecological footprint: reducing human impact on the earth, vol. 9. New Society Publishers, 1998.

[12] J. Koomey and F. Krause, "Introduction to environmental externality costs," CRC Handb. Energy Effic., pp. 35–94, 1997.

[۱۳] ا. عوامی، پیوند آب و انرژی در صنعت. دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۷.

[۱۴] گ. ترنر، ا. بیتمن and ,د. و. پیرس، اقتصاد محیط زیست. دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۸.

[۱۵] ب. جباریان و ا. رئیسی، "برآورد هزینه های محیط زیستی و اجتماعی تولید برق در کشور،" مجله محیط شناسی ,28–21 ,pp. 34 ,vol , 1383.

[۱۶] مهدی صادقی و معصومه ترکی، "بررسی هزینه‌های خارجی تولید برق در ایران (مطالعه موردی: نیروگاه برق شهید رجایی با تاکید بر آلاینده‌های SO2و NO2 ، تحقیقات اقتصادی .vol ,سال چهل و .p ,82 .no , 121-, 1387.

[17] S. Mirasgedis, D. Diakoulaki, L. Papagiannakis, and A. Zervos, "Impact of social costing on the competitiveness of renewable energies: the case of Crete," Energy Policy, vol. 28, no. 1, pp. 65–73, 2000.

[۱۸] معصومه ترکی و زهرا عابدی، "هزینه های خارجی تولید برق از نیروگاه های فسیلی (به صورت موردی ایران)،" انسان و محیط زیست ,19 .no , p. 3-, 1390.

[19] V. Fthenakis and H. C. Kim, "Life-cycle uses of water in US electricity generation," Renew. Sustain. Energy Rev. Elsevier, vol. 14, no. 7, pp. 2039–2048, 2010.

[۲۰] س. بدخشان، م. گنج خانی، ا. صفدریان ,و م. فتوحی فیروزآباد، "مطالعه هزینه فایده ی میزان آب مصرفی نیروگاه ها روی هزینه ی بهره برداری از شبکه های قدرت"، رویداد پیوند آب و انرژی شریف، ۱۳۹۴.

[21] A. Delgado Mart, "Water Footprint of Electric Power Generation: Modeling its use and analyzing options for a water-scarce future," Massachusetts Institute of Technology, 2012.

[22] J. Macknick, R. Newmark, G. Heath, and K. C. Hallett, "Operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies: a review of existing literature," Environ. Res. Lett., vol. 7, no. 4, p. 45802, 2012.

[23] H. Yousefi et al., "Developing the geothermal resources map of Iran," Geothermics, vol. 39, no. 2, pp. 140–151, 2010.

[24] B. D. Hong and E. R. Slatick, "Carbon dioxide emission factors for coal," Q. Coal Rep., vol. 7, 1994.

[۲۵] دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو، "ترازنامه انرژی،" ۱۳۹۶.

[26] K. Sadeghi, "Renewable Energy, Economic Growth and Quality of the Environment in Iran (1980 – 2012)," Q. J. energy policy Plan. Res., vol. 3, no. 6, 2017.

[۲۷] مهدی بریمانی و دکتر عبدالرزاق کعبی نژادیان، "بررسی قیمت تمام شده و تعرفه خرید تضمینی برق تجدیدپذیر در ایران،" انرژی های تجدیدپذیر و نو .vol ,سال اول.1393 ,3-, p. 2 ,no ,

[28] UNFCCC, "Global Carbon Project," 2017.

[29] Y. Tsai, Y. Chan, F. Ko, J. Yang, and others, "Integrated operation of renewable energy sources and water resources.," *Energy Convers. Manag.*, vol. 160, pp. 439–454, 2018.

[30] http://www.satba.gov.ir/fa/guidance/guidance/guidance1/tariff

www.SID.ir