فصلنامه اقتصاد انرژی ایران
سال سوم، شماره ۱۰، بهار ۱۳۹۳، صفحات ۲۰۰-۱۷۹

ارزیابی اقتصادی بهره‌گیری از نیروگاه‌های بادی در ایران با در نظر گرفتن اثر سیاست آزادسازی قیمت انرژی

سید علی اکبر مطهری*، مجید احمدیان، زهرا عابدی*** و حمیدرضا غفارزاده*****

تاریخ دریافت: ۱۹ بهمن ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۳

چکیده

در این تحقیق اثر سیاستهای آزاد سازی قیمت تمام شده انرژی در مقرون به صرفه شدن نیروگاه‌های بادی نسبت به نیروگاه‌های گازی مورد بررسی قرار گرفته است. برای محاسبه هزینه تمام شده تولید برق از منابع مختلف شامل انرژی باد و سوخت های فسیلی از روش «هزینه همتراز شده» به عنوان مقبول ترین روش اقتصادی برای مقایسه بین انواع فناوری‌های تولید برق استفاده شده است. به علاوه در محاسبات مربوط به هزینه تمام شده برق، نرخهای مختلف ارز، فناوری های مختلف نیروگاه های بادی و قیمت های متفاوت انواع سوخت در نظر گرفته شده است. براساس نتایج این تحقیق مشخص شد که با هدفمند کردن قیمت سوخت در کشور، نیروگاه‌های بادی کاملا مقرون به صرفه بوده و با توجه به هزینه فرصت استفاده از گازوییل در کشور، احداث این نیروگاه‌ها می‌تواند امکان صادرات این سوخت را فراهم کند. همچنین این صرفه با تولید تجهیزات ارزبر در داخل کشور افزایش پیدا می کند. نکته مهم آن که با توجه به تغییرات نرخ ارز، سیاست کلان بایستی به سمت بومی سازی صنعت توربین بادی با اولویت قطعات و بخش‌های ارزبر آن باشد. این سیاست باعث تداوم مقرون به صرفه بودن این نوع از نیروگاه‌ها در کشور و همچنین اشتغال متخصصین در کشور می شود.

* کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران
akbar_motahary@yahoo.com
** استاد دانشگاه تهران mahmadian@ut.ac.ir
*** استادیار دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران
Zahra.abedi@gmail.com
**** استادیار مطالعات توسعه شهری دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران
Hamid.ghaffarzadeh@gmail.com

واژگان کلیدی: نیروگاه بادی، نیروگاه گازی، آزاد سازی قیمت انرژی، هزینه همتراز شده
طبقه بندی JEL: Q29, Q39, Q48, D61

۱. مقدمه

اهمیت انرژی در دنیای کنونی باعث شده تا کشورهای مختلف در صدد توسعه منابع انرژی برآمده و علاوه بر نفت، زغال سنگ و گاز- که متداول ترین و آلوده کننده ترین منابع انرژی در دنیا میباشند- سهم منابع جدید تجدیدپذیر را نیز در سبد انرژیهای خود افزایش دهند. در میان انواع گوناگون انرژیهای تجدیدپذیر، استفاده از انرژی بادی بیش از سایر منابع تجدیدپذیر در دنیا است[1].

ایران کشور وسیعی است که مکانهای بادخیز فراوانی دارد. استفاده از این منابع می‌تواند در آینده‌ای نه چندان دور، بخش زیادی از نیازهای انرژی کشور را تأمین نماید. متاسفانه در سالهای اخیر توجه چندانی به این امر نگردیده است. دلیل این موضوع آن است که قیمت‌های نفت و گاز در ایران غیر واقعی بوده و لذا استفاده از انرژی باد توجیه اقتصادی خود را از دست داده است.
با آزاد سازی قیمت‌ها و واقعی شدن قیمت گازوئیل و گاز در کشور ایران، تولید برق با استفاده از انرژی باد قابل رقابت با دیگر منابع انرژی می‌باشد. این تحقیق به دنبال آن است که نشان دهد به طور علمی می‌توان تولید انرژی از طریق باد را در مقایسه با تولید انرژی از طریق سوخت فسیلی(نیروگاه گازی) با در نظر گرفتن قیمت واقعی سوخت و بدون یارانه از نظر اقتصادی توجیه کرد. بدین منظور به ارائه نگرش علمی به این موضوع پرداخته و مسایل مختلف را مورد بررسی قرار می‌دهیم. به علت اهمیت انرژی باد جهت تامین پایدار انرژی کشور ابتدا اهمیت توجه به این عرصه بررسی و سپس فرضیات مهمی را که در این تحقیق مطرح هستند، بیان می‌نماییم. در ادامه روش تحقیق و نتایج تحقیق ارائه می گردد.

۲. مرور ادبیات موضوع

در این مقاله به دنبال بررسی هزینه تمام شده تولید برق نیروگاه های بادی و مقایسه آن با هزینه واقعی تولید برق با استفاده از سوخت های فسیلی هستیم. به این منظور مروری بر فعالیت های صورت گرفته در این زمینه طی سال های گذشته انجام می دهیم.

1. US Renewable Energy Databook, 2013

با توجه به اهمیت این مسئله تاکنون مطالعات فراوانی در راستای مقایسه هزینه تولید برق از منابع مختلف انجام شده است. در بسیاری از مطالعات، هزینه‌های تولید برق بادی با سایر روش-های تولید برق مقایسه شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود. در پاره‌ای از این مطالعات با توجه به تفاوت تکنولوژی‌های تولید برق برحسب ملزومات سرمایه‌گذاری و مشخصات نگهداری، به منظور دست یابی به مقایسه صحیح و علمی، هزینه‌ها با استفاده از نرخ تنزیل به سال پایه انتقال داده و در این حالت با عنوان هزینه همترازشده یا هزینه معادل[1] شناخته می‌شود. هزینه‌ی همترازشده شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری یا اولیه، هزینه‌های تعمیر و نگهداری، هزینه‌های سوخت و هزینه اثرات خارجی می‌شود. هزینه های تعمیر و نگهداری خود به دو بخش ثابت و متغیر تقسیم بندی می‌شوند که هزینه‌های ثابت متناسب با ظرفیت نصب شده است و هزینه‌های متغیر به سطح تولید بستگی دارد.

کووکویک و وسلر[2] (۲۰۱۰)، سه نوع روش تولید انرژی را با یکدیگر مقایسه نموده‌اند. این روشها شامل تولید انرژی از طریق بیودیزلهای جلبکی، بیودیزلهای کلزایی و سوختهای فسیلی می‌باشند. آنها با تحلیل هزینه‌های خصوصی برای تولید انرژی نشان داده‌اند که بیودیزلهای جلبکی که در حقیقت نسل دوم از مولدهای بیودیزلی می‌باشند دارای برتری اقتصادی نسبت به دیگر روشها نمی‌باشد. البته شرایط خاصی وجود دارد که بیودیزلهای جلبکی می‌توانند با روشهای دیگر رقابت نمایند.

ال‌کوردی[3] (۲۰۰۲) تحلیل طول عمر مفید برای برق تولید شده توسط سیتمهای متداول و تجدید پذیر در مصر را با استفاده از مدل LCC[4] مورد مطالعه قرار داده است. او در تحلیل خود هزینه اثرات خارجی را بر پایه مکانهای رقابتی سلولهای خورشیدی و مبدلهای انرژی بادی در نظر گرفته است. نتایج تحقیق وی نشان می‌دهد که هزینه‌های سیستمهای متداول با گذشت زمان بدلیل کم شدن منابع و تقویت استانداردهای آلودگی محیط زیست افزایش می‌یابد. بر اساس این تحقیق، انرژی باد مقرون به صرفه‌ترین انرژی می‌باشد البته به منظور دستیابی به نتایج دقیق باید به این مسئله نیز توجه شود که باد همواره وجود ندارد.

1. Levelized Cost of Energy
2. Kovecovic & Wessler
3. El-kordy
4. Life Cycle Cost

نیج[1] (۲۰۰۸)، با بررسی آماری تولید انرژیهای گوناگون نشان داده است که به دلیل افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری در تولید انرژی، افزایش قیمت سوختهای فسیلی در طول زمان و افزایش تمایل برای محاسبه هزینه های محیطی و سودهای تولید برق، نیروگاه‌های بادی وارد رقابت با نیروگاه‌های متداول تولید برق می گردد.

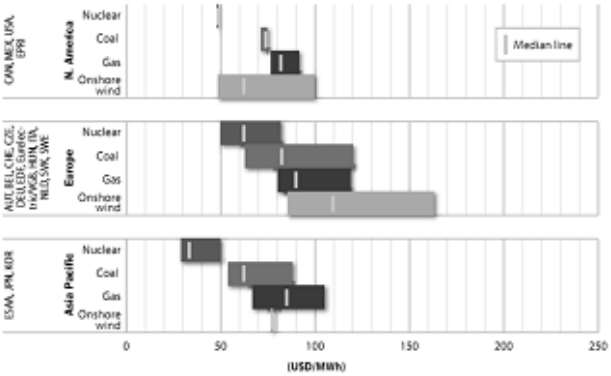
راس و امبس[2] (۲۰۰۴)، با استفاده از روش هزینه همتراز شده چهارده تکنولوژی مختلف را با یکدیگر مقایسه نموده است. به طور اخص، اضافه نمودن هزینه اثرات خارجی در یافتن هزینه‌های نهایی در این کار مورد مطالعه قرار گرفته است. نتیجه تحقیق آن است که اضافه کردن هزینه اثرات خارجی، آزادی در انتخاب را افزایش می‌دهد. همچنین انرژیهای پاک از لحاظ هزینه مقرون به صرفه می‌باشند.

اطلاعات منتشر شده توسط شرکت لازارد[3] (۲۰۱۲) نشان می دهد که برق بادی با قیمت تمام-شده ۴۸ تا ۹۵ دلار در هر مگاوات‌ساعت یکی از ارزانترین گزینه‌های تولید برق است که تمامی محاسبات مذکور برای کشور آمریکا انجام شده است.

NEA[4] و EIA[5] در سال ۲۰۱۰، هزینه همترازشده تکنولوژی‌های تولید برق را در کشورهای مختلف مورد بررسی قرار داده اند(شکل ۲). دراین گزارشات نشان داده شده است که در بین کشورهای مختلف، متناسب با تغییر هزینه‌ی ساخت، هزینه‌ی تمام شده تولید برق تفاوت‌های بسیاری دارد. با توجه به این گزارشها قسمت اصلی هزینه‌های تولید برق در نیروگاه‌های غیر فسیلی هزینه سرمایه‌گذاری است، در حالیکه بیش از نیمی از هزینه نهایی برق فسیلی را هزینه‌ی سوخت دربر می گیرد.

بنابراین اگر هزینه‌های اثرات خارجی از قبیل هزینه آلودگی هوای منطقه و انتشار گازهای گلخانه‌ای به درستی در محاسبات وارد شوند، کل هزینه‌های تولید برق تغییر خواهند کرد و افزایش خواهد داشت.

1. Neij
2. Roth & Ambs
3. Lazard
4. Nuclear Energy Agency
5. Energy Information Administration



[2010, Nuclear Energy Agency (NEA), Energy Information Administration (EIA) Projected Costs of Generating Electricity, 18.]

شکل ۱. هزینه تمام شده گزینه های مختلف تولید برق

بررسی مطالعات داخلی در زمینه توسعه نیروگاه‌های بادی نشان می‌دهد که جهت گیری اغلب این مطالعات به سمت بررسی اقتصادی و فنی احداث نیروگاه‌های بادی می‌باشد. اسدی و صفایی (۱۳۸۲)، تکنولوژی‌های انرژی برق بادی، کنترل الکترونیکی آنها و کنترل کیفیت قدرت تولیدی را مورد مطالعه قرار داده‌اند. در این تحقیق پس از بررسی نیروگاه‌های برق بادی از منظر فنی و مالی قیمت برق تولیدی این واحدها محاسبه شده است. با محاسبه ارزش حال قیمت برق تولیدی از نیروگاههای بر ق بادی، بخاری و گازی و لحاظ نمودن هزینه اجتماعی سه آلاینده مهم زیست محیطی (دی اکسیدکربن، دی اکسید گوگرد و اکسیدهای نیتروژن) مقرون به صرفه تر بودن نیروگاههای برق بادی از نیروگاههای متعارف با شرایط مورد مقایسه احراز گردیده است. همچنین با بررسی موردی توربینهای نصب شده در منجیل و رودبار مشخص شده است که تولید سالیانه توربینها در این دو سایت از تولید سالیانه توربین های مشابه در نقاط دیگر جهان بیشتر است. حسینی و فروز بخش (۱۳۸۳)، ارزیابی مالی و اقتصادی ساخت نیروگاه‌های برق بادی را با استفاده از نرم افزارهای Excel و Visual Basic بر مبنای الگورتیم شاخص‌های اقتصادی سود به هزینه و ارزش حال خالص سرمایه انجام داده‌اند. موسوی و همکاران (۱۳۹۰)، نیروگاه‌های بادی را با گزینه های رقیب از جمله نیروگاه گازی و آبی و سیکل ترکیبی مقایسه کرده‌اند. در این تحقیق بر اساس روش هزینه همتراز شده قیمت برق تولیدی در این نیروگاه‌ها با یکدیگر مقایسه شده‌اند و سناریوهای مختلف قیمت سوخت (سوخت گاز طبیعی) با نرخ ارز ثابت تدوین گردیده است. دیز

آبادی و همکاران (۱۳۹۰)، اثرات مختلف احداث نیروگاه‌های برق بادی و فسیلی را به صورت عددی محاسبه نموده و در هزینه تولید لحاظ نموده‌اند. معین آل بویه و همکاران (۱۳۹۰)، طی تحقیقی توربین‌های بادی مختلف موجود در بازار جهانی را برای استفاده در منطقه معلمان استان سمنان از لحاظ اقتصادی بررسی کرده‌اند و دو نوع توربین بعنوان بهترین گزینه انتخاب کرده‌اند. صابری و همکاران (۱۳۹۱)، با استفاده از روش MIRR[1] از دیدگاه سهامداران و شرکای بخش خصوصی به ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی باد پرداخته اند. آنها نشان داده‌اند که با احتساب قیمت سوخت های فسیلی و فروش برق به نرخ جهانی در بورس انرژی و با فرض فروش اوراقCER[2]، طرح از دیدگاه سهامداران و شرکای تجاری با نرخ استقراض پایین و نرخ سرمایه گذاری مجدد بالا دارای توجیه اقتصادی میباشد. بنائی و همکاران (۱۳۹۱)، به منظور ارائه راهکار حمایتی مناسب برای توسعه برق بادی، کشورهای موفق در زمینه‌ی تولید انرژی الکتریکی از باد را مورد بررسی قرار داده‌اند.

با بررسی های صورت گرفته در پایگاه‌های معتبر داخلی نظیر پژوهشگاه علم و فناوری ایران[3] و کتابخانه ملی[4] مشخص گردید که سیاست آزادسازی قیمتی در زمینه‌های مختلفی مانند محصولات کشاورزی و صنعت خودرو مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. اما در زمینه سیاست‌های آزاد سازی قیمت تمام شده انرژی بر توسعه‌ی بکارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر بخصوص انرژی باد پژوهشی که ابعاد مختلف را مورد مطالعه قرار داده باشد انجام نشده است.

هرچند مطالعات زیادی در خصوص اقتصادی بودن تولید برق بادی صورت گرفته است، اما تاکنون مطالعه‌ای که شامل تحلیل حساسیت نسبت به نرخ ارز(با توجه به شرایط اقتصادی کشور و پر نوسان بودن نرخ ارز، این مطلب از اهمیت خاصی برخوردار است)، بررسی اثرات آزادسازی قیمت انرژی با دو نوع سوخت گاز و گازوئیل و نیز در نظر گرفتن فناوریهای مختلف تولید برق بادی باشد صورت نگرفته است. با توجه به ضرورت آزادسازی قیمت انرژی در کشور با هدف افزایش بهره وری، کاهش شدت مصرف انرژی در کشور و توزیع عادلانه یارانه انرژی، لازم است جنبه‌های مختلف تأثیرگذاری این سیاست در گسترش نیروگاههای بادی مورد بررسی قرار گیرد. نتیجه این تحقیق به محققان، سیاستگذاران و مجریان بخش انرژی کشور کمک خواهد کرد تا

1. Modified Internal Rate of Return
2. Coupon Equivalent Rate
3. http://www.irandoc.ac.ir
4. http://www.nlai.ir

شناخت بیشتری را از اثرات این سیاست‌ها بدست آورند و در نتیجه در صورت نیاز نسبت به بازبینی و اصلاح سیاستهای موجود اقدام نمایند. برای این تحقیق دو فرضیه به صورت زیر تعریف می‌شود:۱- آزاد سازی قیمت انرژی، اثرات مثبتی را در توسعه‌ی بکارگیری انرژی بادی دارد. ۲- سیاست‌های آزاد سازی قیمت انرژی منجر به مقرون به صرفه‌تر شدن انرژی بادی در مقایسه با نیروگاه‌های متعارف (گازی) می گردد.

۳. انتخاب روش تحقیق

روش ارزش خالص حال[1]

این شاخص از جمله شاخص‌های تنزیلی ارزش طرح می‌باشد و برای ارزیابی یک پروژه به روش ارزش حال خالص منافع آن ابتدا باید کلیه درآمدها و هزینه ها را به ارزش حال تبدیل کرده و از تفاضل درآمدها از هزینه ها ارزش حال خالص منافع را بدست آورد. اگر NPV کوچکتر از صفر باشد پروژه غیر اقتصادی است، ولی اگر NPV مثبت باشد پروژه اقتصادی بوده و به این معنی است که ارزش فعلی هزینه ها کوچکتر از ارزش فعلی درآمدها است[اسکونژاد، محمد مهدی،۱۳۸۸].

$$NPV(i,N)=\sum_{t=0}^{N}\frac{R_t}{(1+i)^t}$$

t: دوره جریان نقدی i: نرخ بهره Rt: جریان نقدی خالص

روش نرخ بازده داخلی[2]

نرخی است که در آن ارزش کنونی خالص پروژه صفر می‌باشد. به منظور محاسبه این نرخ رابطه بالا برابر با صفر قرار داده می‌شود. نرخ (عدد i) به دست آمده از حل این معادله در واقع ، نرخ بازدهی داخلی پروژه محسوب می گردد.[مجیدیان،داود،۱۳۸۲].

روش هزینه همتراز شده[3](هزینه‌ی یکنواخت سالیانه)

در روش هزینه‌های همتراز شده، رویکرد مشابه روش ارزش فعلی استفاده می‌شود. در این روش هزینه ها به پرداخت سالیانه یکنواخت تبدیل می‌شوند. به بیان دیگر هزینه همترازشده میزان ثابت

1. NPV(Net Present Value)
2. Internal Rate of Return
3. Levelized Cost of Energy (LCOE)

درآمد به ازای فروش یک واحد محصول که می‌تواند تمام مخارج پروژه را در طول عمر خدماتی پوشش دهد.

مقایسه روش‌ها و انتخاب روش نهایی

روش نرخ بازده داخلی و روش ارزش حال تنها به بررسی سودآوری طرح ها و افزایش ارزش سرمایه گذاری اولیه می پردازد. در حالی که از دید دولت عموما سرمایه گذاری در طرح هایی انجام می شود که هزینه تمام شده پایین تری دارند. به عبارت دیگر برای دولت نیروگاهی که هزینه تمام شده تولید یک واحد انرژی الکتریکی در آن پایین تر باشد در اولویت احداث قرار می گیرد. در نتیجه شاخص هایی مثل سودآوری و ارزش خالص حال سرمایه گذاری، شاخص های بعدی برای ارزیابی محسوب می شود.

در تشریح این موضوع می توان اضافه کرد که روش نرخ بازده داخلی در تحلیل‌های مالی و تصمیم‌گیری به ورود یا عدم ورود به سرمایه‌گذاری در پروژه استفاده می‌شود و در مورد هزینه تمام شده صحبتی نمی‌کند؛ به طوریکه این روش نرخ بازگشتی را که سرمایه‌گذار حاضر به سرمایه‌گذاری در پروژه است، معین می‌کند. از آنجا که هدف از این تحقیق بدست آوردن هزینه‌ی تمام‌شده برق نیروگاه از نگاه دولت است، استفاده از روش نرخ بازده داخلی برای پرداختن به این موضوع مناسب نمی‌باشد. همچنین در مدل ارزش حال، برای مقایسه پروژه‌ها می‌بایست عمر مشترکی را برای پروژه‌ها در نظر گرفت. با توجه به متغیر بودن طول عمر نیروگاه‌های گازی و بادی لذا ارزیابی اقتصادی هزینه‌ی تمام شده برق این نیروگاه‌ها که چرخه عمر مختلف دارند، استفاده از این روش مناسب نیست و به همین دلیل از آن صرف نظر می‌کنیم، لذا با توجه این شرایط، از روش هزینه‌ی همتراز شده به‌عنوان روش مورد استفاده در تحلیل اقتصادی پروژه‌های نیروگاهی استفاده شده است.

در این روش هزینه پروژه با استفاده از هزینه های سالیانه در طول چرخه عمر نیروگاه محاسبه می شود و مخارج اولیه (طراحی، دریافت گواهینامه، نصب)، مخارج عملیاتی، هزینه های تعمیر و نگهداری و هزینه های خارجی را شامل می شود. نرخ تنزیل معمولاً جهت محاسبه ارزش فعلی هزینه ها استفاده می شود که بر حسب درصد و به صورت سالیانه بیان می‌شود[1].

هزینه‌ها به دو قسمت هزینه های تولید برق و هزینه های تحمیل شده بر جامعه در حین تولید برق تقسیم بندی می‌شوند. در هزینه های تولید برق متغیرهایی از قبیل سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه

۱. اسکونژاد،محمد مهدی،۱۳۸۸

های تعمیر و نگهداری و هزینه های سوخت در نظر گرفته می‌شود. از آنجا که هزینه‌های تعمیر و نگهداری و هزینه های سوخت به ترتیب با تورم و افزایش قیمت سوخت افزایش پیدا می کند، لذا می توان نرخ رشد افزایش آن ها را در محاسبات وارد کرد. هزینه های تعمیر و نگهداری در دو دسته ثابت و متغیر طبقه‌بندی می شوند.

در بخش دوم هزینه همترازشده تولید برق، هزینه تحمیل شده بر جامعه قرار دارد که شامل هزینه‌های اثرات خارجی تولید برق است. به عنوان مثال هزینه خسارت حاصل از انتشار آلاینده ها توسط نیروگاه‌های سوخت فسیلی اثر قابل توجهی بر هزینه همترازشده تولید برق این نیروگاه‌ها دارد ولی بر هزینه تولید برق نیروگاه های بادی اثری ندارد.

با درنظر گرفتن این فاکتورها معادله نهایی هزینه تولید برق را می‌توان به صورت زیر نوشت[1].

$$LCOE = C_K + \left[\sum_{t=0}^{PL}\frac{C_{O\&M}\times(1+e_{O\&M})^t}{(1+r)^t} + \sum_{t=0}^{PL}\frac{C_{Fuel}\times(1+e_{Fuel})^t}{(1+r)^t}\right] \times \frac{r(1+r)^{PL}}{(1+r)^{PL}-1} + C_{EC}$$

طبق این رابطه هزینه‌ها به هزینه‌ی سال جاری منتقل گردیده تا ارزش حال پروژه محاسبه شود. ضرب کردن ارزش حال متغیرهای هزینه‌ی نگهداری و هزینه‌ی سوخت با فاکتور $\frac{r(1+r)^{pl}}{(1+r)^{pl}-1}$ آنها را تبدیل به هزینه‌ی یکنواخت سالیانه می کند.

$$C_K = \frac{DR\times TPC(1+r)^{CL}}{HY\times CF}$$

$$C_{O\&M} = \frac{FOM}{HY\times CF} + VOM$$

$$C_{Fuel} = FC\times HR$$

$$C_{EC}(e/kWh) = EF(g/Btu)\times HR(Btu/kWh)\times VED(e/g)$$

در این رابطه CEc بیانگر هزینه های تحمیل شده بر جامعه(هزینه‌های اثرات خارجی) توسط گازهای آلاینده همچون CO2، SO2 و NOx می باشد. فاکتور آلودگی EF میزان آلودگیها در یک واحد مصرفی انرژی سوختی را نشان می دهد. HR نرخ حرارتی نیروگاه‌های برق بوده و VED بیانگر ارزش میزان تخریب محیط می باشد. EF و HR مقادیر فیزیکی بوده که قابل محاسبه می باشند، در حالی که VED را می توان با تخمین مستقیم هزینه یا کاهش هزینه ها یا

1. S.M.Mousavi *et al*, 2012

ترکیب آنها محاسبه نمود. VED پارامتر مهمی برای تحلیل قوانین تنظیم کننده مـی باشـد و لـیکن محاسبه آن معمولا دشوار است. هزینه اثرات خارجی در واحد برق تولیـد شـده بـا اسـتفاده از ایـن عوامل و وارد کردن آنها در فرمول LCOE به طور مستقیم محاسبه می گردد.

همانگونه که در روابط بالا دیده می‌شود LCOE را می‌توان بر پایه‌ی مجموع هزینه‌ی سرمایه، هزینه‌ی تعمیر و نگهداری، هزینه‌ی سوخت و هزینه اثرات خارجی مشخص کرد[1].

از آنجا که LCOE معیار اندازه گیری تولید برق در چرخه عمر نیروگاه است، لذا می بایسـت تمام هزینه ها را در محاسبه هزینه نهایی وارد کرد. جهت محاسبه این پارامترها به اطلاعاتی از قبیل پارمترهای عملیاتی نیروگاه، هزینه ساخت و اجرای نیروگاه، پارامترهای بازار انرژی و پارامترهـای کلان اقتصادی نیاز است. در جدول ۱ لیست متغیرهای استفاده شده در معادله فوق ارایه شده است.

جدول ۱. تعریف پارامترهای معادله هزینه ترازشده

موضوع	نام	واحد اندازه گیری	متغیر
هزینه سرمایه گذاری	Capital Cost	ریال/KWH	CK
نرخ استهلاک	Depreciation Rate	درصد	DR
کل هزینه‌ی ساخت	Total Plant Cost	ریال/KW	TPC
مدت زمان ساخت نیروگاه	Construction Life	سال	CL
نرخ تنزیل	Discount Rate	درصد	R
تعداد ساعات دسترسی در سال	Hours Per Year	ساعت	HY
ضریب ظرفیت	Capacity Factor	درصد	CF
هزینه تعمیر ونگهداری	Total O&M Cost	ریال/KWH	$C_{O\&M}$
نوسانات هزینه‌ی تعمیر و نگهداری	Escalation Rate Of O&M Cost	درصد	$E_{O\&M}$
هزینه ثابت تعمیر ونگهداری	Total Fixed O&M Cost	ریال/KWYEAR	FOM
هزینه متغیر تعمیر ونگهداری	Total Variable O&M Cost	ریال/KWH	VOM
نرخ گرما	Heat Rate	BTU/KWH	HR
طول عمر نیروگاه	Plant Life	سال	PL
هزینه سوخت نیروگاه	Fule Cost	ریال/MMBTU	FC
نوسانات هزینه‌ی سوخت	Escalation Rate Of Fuel Costs	درصد	E_{FUEL}
هزینه اثرات خارجی	External Cost	ریال/KWH	C_{EC}
خسارت آلاینده	Value Of Enviormental Damage	ریال/gr	VED
فاکتور آلودگی	Emission Factor	gr/BTU	EF
هزینه همتراز شده انرژی	Levelized Cost Of Energy	ریال/KWH	LCOE

2012, Mousavi, S.M. et al, The Competitiveness of Wind Power Compared to Existing Methods of Electricity Generation in Iran. Energy Policy, 653

٤. روش تحقیق

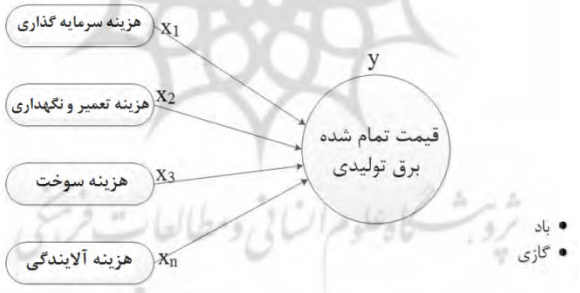
روش به کار گرفته شده در این پژوهش روش توصیفی- تحلیلی است. در این مطالعه با اسـتفاده از روش توصیفی _ تحلیلی، سناریوهای مختلف پیاده سازی قانون آزاد سازی قیمت تمام شده انرژی

1. S.M.Mousavi *et al*, 2012

برتوسعه بهره گیری از انرژی بادی در کشور بررسی می‌شود. اهمیت و سودمندی این مطالعه از آن روست که بر اساس آن معلوم می‌گردد که با اتخاذ کدام سناریو، قیمت تمام شده کمتری برای انرژی بادی درمقایسه با نیروگاه حرارتی (گازی) درکشور بدست خواهد آمد و تبعات قیمتی اجرای هر سناریو چه خواهد بود. لازم به توضیح است که به منظور پیاده سازی سناریوهای مختلف و سهولت در انجام محاسبات مربوط به تبعات اجرای هر سناریو، از نرم افزار excel استفاده شده است.

برای بررسی سناریوهای مطرح شده در بخش قبل، از روش هزینه همتراز شده استفاده می‌شود. در روش هزینه همتراز شده، رویکرد مشابه روش ارزش فعلی استفاده می‌شود. در این روش، هزینه‌ها با تنزیل به سال پایه به هزینه‌های سالیانه یکنواخت تبدیل می‌شوند. شکل ۲ نشان دهنده متغیرهایی است که برای محاسبه هزینه همتراز شده مد نظر قرار می‌گیرد.

در نیروگاه‌های گازی، سهم قیمت سوخت در قیمت تمام شده انرژی بالاتر از سایر نیروگاه‌هاست[1]. از طرف دیگر، منظور از آزاد سازی قیمت تمام شده انرژی در این تحقیق عبارت است از آزاد سازی قیمت سوخت یا حامل‌های انرژی. بنابراین، در مدل ساخته شده نیروگاه گازی (به عنوان دارنده بیشترین سهم قیمت سوخت در قیمت انرژی و نیز سهم ظرفیت تولید برق نسبت به نیروگاه‌های دیگر) با بادی مورد مقایسه قرار می‌گیرند.



شکل ۲. مدل مفهومی متغیرها

در نهایت با مقایسه و تحلیل حساسیت هزینه‌های همتراز شده انرژی در نیروگاه‌های بادی و گازی می‌توان به بررسی اثر سیاست های آزادسازی قیمت تمام شده انرژی در توسعه نیروگاه‌های بادی پرداخت. در این مطالعه صرفا هزینه همتراز شده را از نقطه نظر سرمایه گذار بررسی می کنیم محل احداث نیروگاه را یکی از سایت های مناسبی که از طرف سازمان انرژی های نو ایران (سانا)

1. S.M.Mousavi *et al*, 2012

معرفی شده است در نظر می گیریم. همچنین در ادامه از عوامل برون زا از جمله شرایط شبکه توزیع و انتقال در اطراف نیروگاه صرف نظر می شود. به علاوه فناوری های مختلف توربین بادی انتخاب شده در این تحقیق دو فناوری مشخص است: اول توربین های بادی ۶۶۰ کیلووات که در داخل کشور در شرکت صبانیرو تولید می شود و دوم توربین های بادی ۲ مگاواتی که با مطالعه انجام شده در پژوهشگاه نیرو به عنوان توربین مناسب برای نصب در داخل کشور معرفی شده است[۱]. ضریب ظرفیت استفاده شده برای نیروگاه بادی در این تحقیق از اطلاعات سانا و متناسب با شرایط متوسط اقلیمی کشور در نظر گرفته شده است. این ضریب برای نیروگاه گازی از آمار تفصیلی صنعت برق گرفته شده است. محاسبات انجام شده بر مبنای اطلاعات مختلفی است که جزییات آن در جدول شماره ۲ آورده شده است. مبنای گردآوری اطلاعات این جدول، استفاده از آمارهای رسمی بوده است که از سازمانهایی شامل معاونت تولید شرکت توانیر(ترازنامه انرژی کشور)، دفتر مهندسی باد سازمان انرژی های نو ایران (سانا)، شرکت ملی نفت، بانک جهانی اخذ شده است. لازم به ذکر است در حالت کنونی که سوخت یارانه ای به نیروگاه ها اختصاص پیدا می کند، نیروگاه‌ها باید برای هر مترمکعب گاز هفتصد ریال و برای هر لیتر گازوییل سه هزار و پانصد ریال بپردازند[۲]. که این قیمت ها در جدول شماره ۲ و محاسبات مورد استفاده قرار گرفته است. نرخ تنزیل با توجه به نرخ تورم عمومی و شرایط اقتصادی کشور در سال های گذشته و با استفاده از اطلاعات میدانی از تحلیلگران اقتصادی در نظر گرفته شده است. سایر فرضیات مورد استفاده در محاسبات بر اساس آمارهای سال ۲۰۱۱ میلادی در نظر گرفته شده است که سال شروع اجرای قانون هدفمند کردن یارانه ها است. همچنین این مطالعه با در نظر گرفتن شرایطی انجام شده است که در آن، وضعیت جغرافیایی محدود کننده تولید برق نیست و توربین بادی با حداکثر ظرفیت نامی خود می تواند کار کند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۱. پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۷، متدولوژی تعیین سایز و جمع بندی مطالعات

۲. آمارتفضیلی صنعت برق ایران سال ۹۰

جدول ۲. داده های ورودی مدل جهت بررسی تطبیقی نیروگاه گازی و نیروگاه بادی

ردیف	عنوان	واحد	گازی بزرگ	بادی ۶۶۰ کیلو وات	بادی ۲ مگاوات
۱	ظرفیت کل (MW)		۱۰۰	۱۰۰,۳۲	۱۰۰
۲	تعداد		۴	۱۵۲	۵۰
۳	ظرفیت واحد (MW)		۲۵	۰,۶۶	۲
۴	مدل			Vestas - V47	Vestas - V90
۵	ضریب ظرفیت(CF)	درصد	۳۶	۲۶	۳۵
۶	ضریب تعدیل e تعمیر نگهداری	درصد	۱۵	۱۵	۱۵
۷	ضریب تعدیل e سوخت	درصد	۱۵	-	-
۸	هزینه سوخت (FC) واقعی گازوییل	دلار بر میلیون بی تی یو	۲۲,۶۲۲۹	-	-
۹	هزینه سوخت (FC) فعلی گازوییل	ریال بر میلیون بی تی یو	۱۰۰۸۶۶,۶۵	-	-
۱۰	هزینه سوخت (FC) واقعی گاز	دلار بر میلیون بی تی یو	۸,۶۴۵۷	-	-
۱۱	هزینه سوخت (FC) فعلی گاز	ریال بر میلیون بی تی یو	۲۰۱۷۳,۳۳	-	-
۱۲	نرخ گرما (مقدار گرما برای تولید هر کیلووات‌ساعت) HR	میلیون بی تی یو بر کیلووات ساعت	۰,۰۱۲	-	-
۱۳	مجموع آلاینده‌ها تولید شده به ازای هر واحد گرما به گرم EF	گرم بر میلیون بی تی یو	۷۶۹۶۹,۵	-	-
۱۴	مجموع خسارت دلاری آلاینده‌ها WED	دلار بر گرم	۰,۰۱۱	۰	-
۱۵	تعداد ساعات دسترسی در سال (HY)	ساعت	۷۳۵۸,۴	۸۴۹۷,۲	۸۴۹۷,۲
۱۶	کل هزینه تعمیر و نگهداری ثابت(FOM)	دلار بر کیلووات سال	-	۳۰	۳۰
		ریال بر کیلووات سال	۸۶۲۳۳,۳	-	-
۱۷	کل هزینه تعمیر و نگهداری متغیر(VOM)	سنت بر کیلووات ساعت	۰,۱۸۹۸۰۱۸	۰,۸	۰,۸
		ریال بر کیلووات ساعت	۷۰,۸۵۹۷	-	-
۱۸	مدت زمان ساخت نیروگاه CL	سال	۱	۲	۲
۱۹	کل هزینه اولیه نیروگاه (TPC)	دلار بر کیلووات	۲۲۹,۸۲۴	۶۰۰	۱۳۵۰
		ریال بر کیلووات	۸۶۶۸۸۳۶	۱۵۰۰۰۰۰	۰
۲۰	طول عمر نیروگاه(PL)	سال	۱۵	۲۰	۲۰
۲۱	نرخ تنزیل R	درصد	۲۰	۲۰	۲۰
۲۲	نرخ استهلاک DR	درصد	۶,۷	۵	۵

منبع: آمارهای رسمی منتشر شده توسط بانک جهانی(۲۰۰۹)، ترازنامه انرژی ایران منتشر شده توسط وزارت نیرو(۱۳۹۱)، مصاحبه با معاونت تولید شرکت توانیر، دفتر مهندسی باد سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) و شرکت ملی نفت ایران

نتایج محاسبه هزینه همتراز شده تولید برق در نیروگاه های مورد بررسی

در ادامه نتایج محاسبات و داده های بالا برای تعیین هزینه همتراز شده سوخت نیروگاه‌ها بر مبنای قیمتهای ریالی و دلاری در دو نوع سوخت گاز و گازونیل به همراه مد نظر قرار دادن آلاینده‌های زیست محیطی محاسبه و ارائه شده است.

در نیروگاه های بادی عمده نیاز به منابع دلاری در بخش سرمایه گذاری اولیه است که در مدل جاری نیز به صورت دلاری در نظر گرفته شده است. در نیروگاه های گازی عمده منابع هزینه ای در جریان بهره برداری از نیروگاه صورت می گیرد و سوخت نیروگاه سهم به سزایی در آن دارد. نکته کلیدی در این قسمت هزینه فرصت سوخت یا همان ارزش صادرات یا واردات آن است و به همین علت محاسبات مربوط به سوخت را بر اساس هزینه های دلاری در نظر گرفته ایم. هرچند ارزیابی اقتصادی بودن نیروگاه بادی در شرایط فعلی انجام شده است، اما با تحلیل حساسیت نشان داده می شود که این طرح حتی در شرایط نرخ ارز بالاتر هم اقتصادی باقی خواهد ماند. افزایش نرخ ارز بر کلیه بخشهای اقتصادی و تورم عمومی اثراتی دارد، اما با توجه به اینکه در بررسی نیروگاه‌های بادی و گازی، بیش از ۸۰ درصد هزینه‌ها از جمله تجهیزات نیروگاه بادی و سوخت نیروگاه گازی را به صورت ارزی در نظر گرفته‌ایم، اثر افزایش نرخ ارز بر تورم عمومی در محاسبات ما تغییر چندانی به وجود نمی‌آورد.

جدول۳. هزینه همتراز شده نیروگاه گازی(سوخت گاز) و نیروگاه بادی

قیمت سوخت (براساس سال ۹۰)	نرخ دلار(ریال)	$LCOE_t$ (ریال) نیروگاه گازی	$LCOE_w$ (ریال) نیروگاه بادی	
			۶۶۰کیلووات	۲ مگاوات
۷۰۰ ریال (فعلی)	۲۵۰۰۰	۱۹۵۶,۴۹	۲۰۶۳,۰۱	۲۰۸۷,۳۷۹
۳۰ سنت (واقعی)	۲۵۰۰۰	۷۹۱۸,۱۰۴	۲۰۶۳,۰۱	۲۰۸۷,۳۷۹
۷۰۰ ریال (فعلی)	۳۰۰۰۰	۲۱۱۹,۹۹۵	۲۴۶۶,۱۲۸	۲۵۰۴,۸۵۵
	۳۵۰۰۰	۲۲۸۳,۵	۲۸۶۹,۲۴۶	۲۹۲۲,۳۳۱
	۴۰۰۰۰	۲۴۴۷,۰۰۵	۳۲۷۲,۳۶۴	۳۳۳۹,۸۰۷
۳۰ سنت (واقعی)	۳۰۰۰۰	۹۳۹۶,۶۷	۲۴۶۶,۱۲۸	۲۵۰۴,۸۵۵
	۳۵۰۰۰	۱۰۸۷۵,۲۴	۲۸۶۹,۲۴۶	۲۹۲۲,۳۳۱
	۴۰۰۰۰	۱۲۳۵۳,۸۱	۳۲۷۲,۳۶۴	۳۳۳۹,۸۰۷

منبع : محاسبات محقق

با توجه به نتایج بدست آمده ملاحظه می‌شود که آزاد سازی قیمت انرژی مخصوصا قیمت سوخت مصرفی نیروگاه‌ها بر مبنای قیمت های واقعی انرژی، استفاده از توربین های بادی را کاملا توجیه پذیر می‌نماید. برای توضیح بیشتر تعدادی از شکل های بدست آمده در این خصوص ارائه می‌شود. شکل ها از جمع بندی و تحلیل حساسیت بدست آمده است.

جدول٤. هزینه همتراز شده نیروگاه گازی (سوخت گازوئیل) و نیروگاه بادی

قیمت سوخت (براساس سال ۹۰)	نرخ دلار(ریال)	$LCOE_t$ (ریال) نیروگاه گازی	$LCOE_w$ (ریال) نیروگاه بادی	
			۶۶۰کیلووات	۲ مگاوات
۳۵۰۰ ریال(فعلی)	۲۵۰۰۰	۴۴۱۱,۲۷۶	۲۰۶۳,۰۱	۲۰۸۷,۳۷۹
۷۸,۵ سنت(واقعی)	۲۵۰۰۰	۱۸۵۴۵,۹۷	۲۰۶۳,۰۱	۲۰۸۷,۳۷۹
۳۵۰۰ ریال(فعلی)	۳۰۰۰۰	۴۵۷۴,۷۸۱	۲۴۶۶,۱۲۸	۲۵۰۴,۸۵۵
	۳۵۰۰۰	۴۷۳۸,۲۸۶	۲۸۶۹,۲۴۶	۲۹۲۲,۳۳۱
	۴۰۰۰۰	۴۹۰۱,۷۹۲	۳۲۷۲,۳۶۴	۳۳۳۹,۸۰۷
۷۸,۵ سنت ریال(واقعی)	۳۰۰۰۰	۲۲۱۵۰,۱۱	۲۴۶۶,۱۲۸	۲۵۰۴,۸۵۵
	۳۵۰۰۰	۲۵۷۵۴,۲۵	۲۸۶۹,۲۴۶	۲۹۲۲,۳۳۱
	۴۰۰۰۰	۲۹۳۵۸,۴	۳۲۷۲,۳۶۴	۳۳۳۹,۸۰۷

منبع: محاسبات محقق

شکل ۳. مقایسه هزینه همتراز شده نیروگاه های گازی و بادی با قیمت فعلی سوخت گاز

منبع: محاسبات محقق

بر اساس شکل۴ مشخص است که قیمت سوخت نیروگاه‌ها در قیمت فعلی و بر مبنای استفاده از گاز باعث خواهد شد که کماکان نیروگاه‌های گازی مقرون به صرفه تر باشند. در این حالت نشان می دهد که حتی هزینه آلایندگی نمی تواند باعث مقرون به صرفه شدن نیروگاه بادی گردد و این نیروگاه نسبت به تغییرات نرخ ارز حساسیت بالایی دارد که این به دلیل بالا بودن هزینه خرید تجهیزات وارداتی آن می باشد.

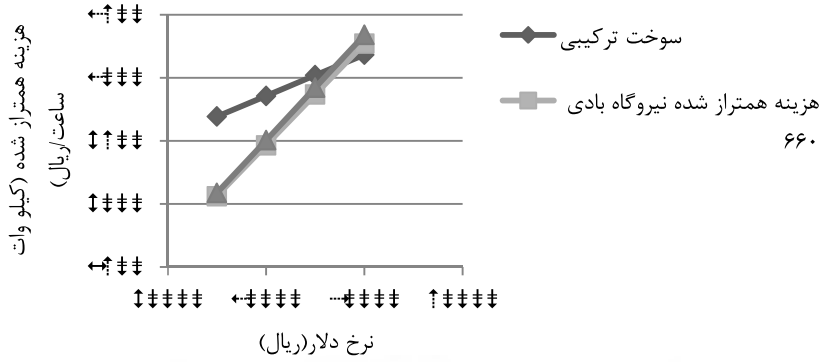
با توجه به شکل ۵ در صورتی که از گازوئیل برای تامین سوخت نیروگاه‌های گازی استفاده شود کاملا مشخص است که با توجه به قیمت بالاتر گازوئیل نسبت به گاز استفاده از نیروگاه‌های بادی کاملا مقرون به صرفه خواهد بود. اگر قیمت گاز به صورت ریالی افزایش پیدا کند(مثلا در گام های بعدی هدفمندی) و به قیمت ریالی گازوییل نزدیک تر شود، شکل۵ نشان می دهد نیروگاه گازی با سوخت گاز نمی تواند با نیروگاه بادی رقابت نماید.

شکل ٤. مقایسه هزینه همتراز شده نیروگاه های گازی و بادی با قیمت فعلی سوخت گاز و گازوئیل

منبع: محاسبات محقق

در حال حاضر سوخت نیروگاهها (در صورتیکه شرایط واقعی کشوردر نظر گرفته شود) به دلیل مصرف گاز در کاربردهای خانگی در زمستانها معمولا با گازوئیل جایگزین خواهد شد که اگر درصد این جایگزینی در سال سی درصد باشد حتی با قیمتهای فعلی تا نرخ ارز به میزان

۳۷۰۰۰ ریال نیز نیروگاههای بادی توجیه پذیر خواهد بود. این حالت در شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل ۵. مقایسه هزینه همتراز شده نیروگاه های گازی و بادی بر مبنای ترکیب سوخت مصرفی گاز و گازوئیل با قیمت فعلی

منبع: محاسبات محقق

اگر قیمت سوخت مصرفی نیروگاهها بر مبنای قیمتهای واقعی محاسبه شود در هر دو وضعیت مصرف گاز به صورت تک سوخت و مصرف گاز و گازوئیل به صورت توامان، نیروگاههای بادی توجیه پذیر خواهند بود. از طرف دیگر با توجه به نزدیک بودن هزینه تولید برق با استفاده از توربین های ۶۶۰ کیلوواتی و ۲ مگاواتی، ضروری است استفاده از توربین های ۲ مگاواتی به دلیل بهره وری بالا و استفاده از زمین کمتر ، تبدیل انرژی بیشتری از انرژی بادی در کشور و صدای کمتر در اولویت قرار گیرد.

با توجه به اینکه فاصله احداث توربین های بادی نسبتی با قطر روتور آنها دارد و با افزایش ظرفیت قطر روتور با نسبت کمتری افزایش می یابد، لذا می توان نتیجه گیری نمود که توربین های بادی با ظرفیت بالاتر در فضای اشغال شده معادل با توربین های با ظرفیت کمتر توان بیشتری را تولید می نمایند. به طور مثال با توجه به اطلاعات توربین های بادی مندرج در سایت شرکت معتبر دانمارکی وستاس قطر روتور توربین بادی ۶۶۰ کیلوواتی برابر ۴۶ متر، قطر توربین بادی ۲ مگاواتی برابر ۱۱۰ متر و قطر روتور توربین۳,۳ مگاواتی برابر ۱۱۷ متر است. لذا با یک حساب ساده مشخص می شود که توربین ۳,۳ مگاواتی نسیت به توربین ۶۶۰ کیلوواتی افزایش ظرفیتی ۵

برابر را دارد، در حالیکه قطر روتور آن تنها ۲,۵۴ برابر شده و برای توربین بادی ۲ مگاوات نسبت به ۶۶۰ کیلوواتی افزایش توان ۳,۳ برابر است، در حالیکه قطر روتور تنها ۲,۳ برابر افزایش یافته است.

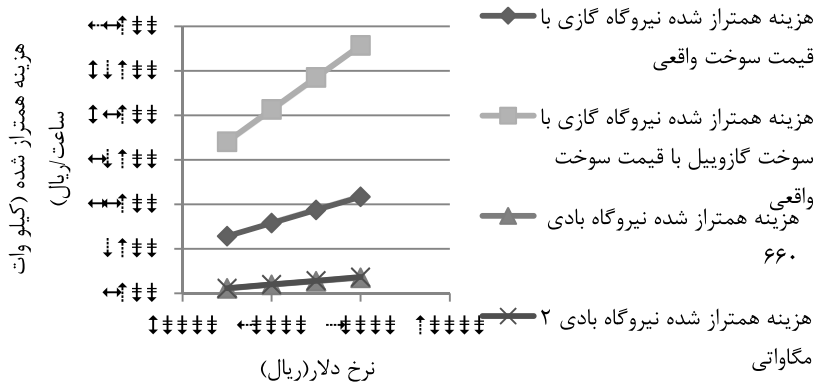
یکی دیگر از دلایل مزیت توربین های بادی اندازه بزرگ، صدای کمتر آنهاست. در توربین های بادی سایز[1] بزرگ علی رغم اینکه شدت صدای تولیدی افزایش می یابد اما بعلت ارتفاع بیشتری که برج آن از سطح زمین دارد صدای کمتری به زمین می رسد. به طور مثال شدت صدای توربین بادی ۶۶۰ کیلوواتی ۱۰۲ دسیبل[2] است که با توجه به ارتفاع متوسط ۵۰ متری برج آن شدت صدای که بر روی زمین شنیده می شود ۴۸ دسیبل است. از طرف دیگر شدت صدای توربین بادی v90، ۲ مگاواتی برابر با ۱۰۴ دسیبل است که با توجه به ارتفاع متوسط ۹۰ متر برج آن شدت صدای ۴۴ دسیبل بر روی سطح زمین شنیده می شود.

مطابق شکل های ۷ و ۸ قیمت تمام شده‌ی یک کیلو وات ساعت برق در نیروگاه بادی ۸/۳ سنت است(قیمت تمام شده در نیروگاه های ۶۶۰ کیلوواتی و ۲مگاواتی تفاوت چندانی ندارند)، در حالیکه در نیروگاه گازی ۳۱ سنت و در نیروگاه گازوییلی ۷۱ سنت و با سوخت ترکیبی گاز و گازوئیل ۴۲ سنت است. همچنین حساسیت قیمت تمام شده به قیمت ارز در نیروگاههای بادی کمتر از نیروگاههای گازی و ترکیبی است.

شکل ٦. مقایسه نیروگاه های گازی و بادی با قیمت واقعی سوخت گاز

منبع: محاسبات محقق

1. Size
2. Decibel



شکل ۷. مقایسه نیروگاه های گازی و بادی با قیمت واقعی سوخت گاز و گازوئیل

منبع: محاسبات محقق

۵. نتیجه گیری

آزاد سازی قیمت انرژی مخصوصا قیمت سوخت مصرفی نیروگاه‌ها بر مبنای قیمت های واقعی انرژی، استفاده از توربین های بادی را کاملا توجیه پذیر می‌نماید. قیمت سوخت نیروگاه‌ها در قیمت فعلی و بر مبنای استفاده از گاز باعث خواهد شد که کماکان نیروگاه‌های گازی مقرون به صرفه تر باشند. اما در صورتی که از گازوئیل برای تامین سوخت نیروگاه‌های گازی استفاده شود، با توجه به قیمت بالاتر گازوئیل نسبت به گاز استفاده از نیروگاه‌های بادی کاملا مقرون به صرفه خواهد بود. اگر قیمت گاز به صورت ریالی افزایش پیدا کند و به قیمت ریالی گازوییل نزدیک تر شود، نیروگاه گازی با سوخت گاز نمی تواند با نیروگاه بادی رقابت نماید و هزینه تمام شده برق تولیدی آن بسیار بالا خواهد بود. همچنین اگر قیمت ارز افزایش یابد صرفه اقتصادی تولید برق در نیروگاه های بادی فاصله خود را با نیروگاه های گازی بیشتر می کند و نیروگاه های گازی برق گرانتری را نسبت به نیروگاه های بادی تولید می کنند. البته در میان دو فناوری مورد بحث توربین های بادی، توربین های ۲ مگاواتی در صورتی هزینه کمتری نسبت به توربین های ۶۶۰ مگاواتی خواهند داشت که هزینه زمین نیروگاه در محاسبات لحاظ شود؛ اگرچه اختلاف هزینه تمام شده این دو فناوری اندکی با هم اختلاف دارد و هر دو مورد کمتر از هزینه تولید برق در نیروگاه گازی است.

٦. توصیه های سیاستی

بر اساس تحقیق صورت پذیرفته هر چند تا کنون به فرضیات تحقیق پاسخ داده شده است اما با توجه به یافته های تحقیق به موارد دیگری نیز می‌توان اشاره کرد که چون خارج از محدوده فرضیات تحقیق می‌باشد با عنوان توصیه های سیاستی ارائه می‌شود:

الف) با توجه به اثر حذف یارانه های انرژی در افزایش بهره وری نیروگاه‌ها، قیمت سوخت دریافتی نیروگاه‌ها باید به صورت آزاد محاسبه و برق نیز به قیمت واقعی خریداری شود. در این صورت با لحاظ هزینه سوخت در قیمت تمام شده برق، این قیمت افزایش پیدا می کند و در نتیجه با توجه به صرفه اقتصادی تولید برق بادی، افرایش قیمت خرید تضمینی برق بادی امکان پذیر و زمینه گسترش نیروگاه‌های بادی فراهم می‌شود.

ب) بر اساس نتایج تحقیق تفاوت قابل ملاحظه ای بین هزینه تمام شده برق تولیدی در نیروگاه‌های بادی با توربین های ۶۶۰ کیلو وات و ۲ مگاوات نیست. بنابراین پیشنهاد می‌شود با توجه به افزایش ظرفیت در نیروگاه‌های مگاواتی، بالاتر بودن سطح فناوری و کمتر بودن زمین مورد نیاز نیروگاه در توربین های مگاواتی، استفاده از توربین‌های مگاواتی در اولویت قرار گیرد. از نظر دیگر با توجه به هزینه برابر این دو نوع فناوری، در صورتی که یک مزرعه بادی با توربین های کم توان پوشیده شود، امکان تولید برق محدود می شود؛ لذا ضروری است نسبت به استفاده از توربین‌های پرتوان مگاواتی در احداث نیروگاه‌های بادی اقدام شود.

ج) با توجه به اثر افزایش نرخ ارز بر افزایش هزینه احداث نیروگاه‌های بادی، بومی‌سازی صنعت توربین‌های بادی با محوریت اجزای وارداتی در اولویت قرار گیرد. این بومی‌سازی کمک شایانی به اشتغال نیروهای متخصص در کشور نیز خواهد داشت.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

الف- فارسی

اسکونژاد،محمد مهدی (۱۳۸۸)، *اقتصاد مهندسی*، دانشگاه صنعتی امیر کبیر ، صفحات ۹۱ و ۱۰۷

آل بویه(همکاران)، معین (۱۳۹۰) «ارزیابی اقتصادی احداث نیروگاه بادی(مطالعه موردی،منطقه معلمان استان سمنان)»، اولین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین نگهداشت انرژی،صفحه۱-۱۰

بنائی(همکاران)، محسن (۱۳۹۱) «برنامه‌ریزی سیاست های حمایتی از نیروگاههای بادی با در نظر گرفتن شرایط اقتصادی ایران»، نخستین کنفرانس انرژی بادی ایران، صفحه۱-۱۱

پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۷، متدولوژی تعیین سایز و جمع بندی مطالعات، ص ۱۱۳

حسینی، فروزبخش و سید محمد حسن فرشید (۱۳۸۳) «تجزیه و تحلیل اقتصادی احداث نیروگاه‌های بادی»، نوزدهمین کنفرانس بین المللی برق،صفحه۱-۱۰

خطی دیزآبادی(همکاران)، علی (۱۳۹۰) «امکان سنجی استفاده از توربین های بادی و فرآیند آن در مقایسه با سایر نیروگاههای با سوخت فسیلی»، همایش ملی اصلاح تولید و مصرف،صفحه۱-۸

خلجی اسدی، صفائی و مرتضی بتول (۱۳۸۲) «بررسی نیروگاههای برق بادی نصب شده در ایران از دیدگاه فنی و اقتصادی»، ۱۸ کنفرانس بین المللی برق،صفحه۴۴۳-۴۴۵

صابری(همکاران)، علی (۱۳۹۱) «ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی باد با استفاده از روش MIRR از دیدگاه سهامداران و شرکای بخش خصوصی»، نخستین کنفرانس انرژی بادی ایران، صفحه۱-۶

مجیدیان، داود (۱۳۸۲) ارزیابی طرح های صنعتی، سازمان مدیریت صنعتی، صفحه ۱۸۶

ب- انگلیسی

"2012 Renewable Energy Data Book", National Renewable Energy Laboratory (NREL), US Department of Energy, USA, 2013, 44.

El-Kordy, M.N., Badr, M.A., Abed, K.A., Ibrahim, Said, M.A. (2002) Economical Evaluation of Electricity Generation Considering Externalities. Renewable,317-327

Kovacevic, V., Wesseler, J. (2010) "Cost-Effectiveness Analysis of Algae Energy Production in the EU". *Energy Policy* 38,5749-5755

Lazard (2012) Levelized Cost of Energy Analysis – Version 6.3,12.

Mousavi, S.M. *et al*, (2012) "The Competitiveness of Wind Power Compared to Existing Methods of Electricity Generation in Iran". *Energy Policy*,651-656

Neij, L. (2008) "Cost Development of Future Technologies For Power Generation – A Study Based on Experience Curves And Complementary Bottom-Up Assessment". *Energy Policy* 36, 2200–2209

Nuclear Energy Agency (NEA), Energy Information Administration (EIA) (2010) Projected Costs of Generating Electricity. 2010 Update, 18.

Roth, I.F., Ambs, L.L. (2004) "Incorporating Externalities Into A Full Cost Approach to Electric Power Generation Life-Cycle Costing". *Energy* 29,651-656

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی