

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 ارزش، 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 کاملاً مقرون به صرفه بوده و با توجه به هزینه فرصت استفاده از گازوئیل در کشور، احداث این نیروگاه‌ها می‌تواند امکان صادرات این سوخت را فراهم کند. همچنین این صرفه با تولید تجهیزات ارزش در داخل کشور افزایش پیدا می‌کند. 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 ارزش آن باشد. این سیاست باعث تداوم مقرون به صرفه بودن این نوع از نیروگاه‌ها در کشور و همچنین اشتغال متخصصین در کشور می‌شود.

* کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران

akbar_motahary@yahoo.com

mahmadian@ut.ac.ir

** استاد دانشگاه تهران

*** 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^۱.

ایران کشور وسیعی است که مکانهای بادخیز فراوانی دارد. استفاده از این منابع می تواند در آینده ای نه چندان دور، بخش زیادی از نیازهای انرژی کشور را تأمین نماید. متأسفانه در سالهای اخیر توجه چندانی به این امر نگردیده است. دلیل این موضوع آن است که قیمت های 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 قیمت ها و واقعی شدن قیمت گازوئیل و گاز در کشور ایران، تولید برق با استفاده از انرژی باد قابل رقابت با دیگر منابع انرژی می باشد. این تحقیق به دنبال آن است که نشان دهد به طور علمی می توان 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 می دهیم. به علت اهمیت انرژی باد جهت تأمین پایدار انرژی کشور ابتدا اهمیت توجه به این عرصه بررسی و سپس فرضیات مهمی را که در این تحقیق مطرح هستند، بیان می نماییم. 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.

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 روش‌های 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 دست‌یابی به مقایسه صحیح و علمی، هزینه‌ها با استفاده از نرخ تنزیل به سال پایه انتقال داده و در این حالت با عنوان هزینه همتراز شده یا هزینه معادل^۱ شناخته می‌شود. هزینه‌ی همتراز شده شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری یا اولیه، هزینه‌های تعمیر و نگهداری، هزینه‌های سوخت و هزینه اثرات خارجی می‌شود. هزینه‌های 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^۲ (۲۰۱۰)، سه نوع روش تولید انرژی را با یکدیگر مقایسه نموده‌اند. این روشها شامل تولید انرژی از طریق بیودیزلهای جلبکی، بیودیزلهای کلزایی و سوخته‌های 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.

ال کوردی^۳ (۲۰۰۲) تحلیل طول عمر مفید برای برق تولید شده توسط سیستمهای متداول و تجدید پذیر در مصر را با استفاده از مدل LCC^۴ 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^۱ (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 هزینه‌های محیطی و سودهای تولید برق، نیروگاه‌های بادی وارد رقابت با نیروگاه‌های متداول تولید برق می‌گردد.

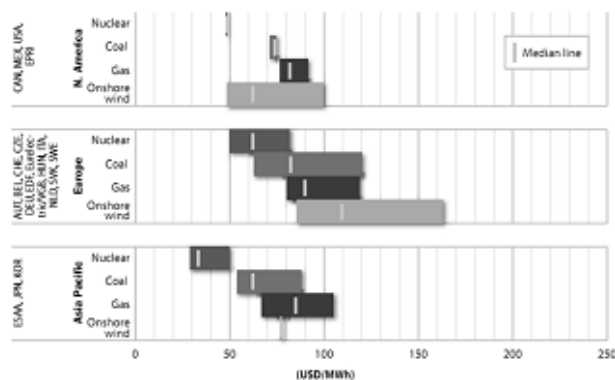
راس و امبس^۲ (۲۰۰۴)، با استفاده از روش هزینه همتراز شده چهارده تکنولوژی مختلف را با یکدیگر مقایسه نموده است. به طور اخص، اضافه نمودن هزینه اثرات خارجی در یافتن هزینه‌های نهایی در این کار مورد مطالعه قرار گرفته است. نتیجه تحقیق آن است که اضافه کردن هزینه اثرات خارجی، آزادی در انتخاب را افزایش می‌دهد. همچنین انرژیهای پاک از لحاظ هزینه مقرون به صرفه می‌باشند.

اطلاعات منتشر شده توسط شرکت لازارد^۳ (۲۰۱۲) نشان می‌دهد که برق بادی با قیمت تمام‌شده ۴۸ تا ۹۵ دلار در هر مگاوات‌ساعت یکی از ارزانهترین گزینه‌های تولید برق است که تمامی محاسبات مذکور برای کشور آمریکا انجام شده است.

NEA^۴ و EIA^۵ در سال ۲۰۱۰، هزینه همتراز شده تکنولوژی‌های تولید برق را در کشورهای مختلف مورد بررسی قرار داده‌اند (شکل ۲). در این 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 می‌گیرد.

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 & Ambbs
 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 گزینه‌های مختلف تولید برق

بررسی مطالعات داخلی در زمینه توسعه نیروگاه‌های بادی نشان می‌دهد که جهت‌گیری 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 برق بادی، بخاری و گازی و لحاظ نمودن هزینه اجتماعی سه آلاینده مهم زیست محیطی (دی اکسید کربن، 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 سالانه توربینها در این دو سایت از تولید سالانه 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 الگوریتم شاخص‌های اقتصادی سود به هزینه و ارزش حال خالص سرمایه انجام داده‌اند. موسوی و همکاران (۱۳۹۰)، نیروگاه‌های بادی را با گزینه‌های 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^۱ از دیدگاه سهامداران و شرکای بخش خصوصی به ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی باد پرداخته‌اند. آنها نشان داده‌اند که با احتساب قیمت سوخت‌های فسیلی و فروش برق به نرخ جهانی در بورس انرژی و با فرض فروش اوراق CER^۲، 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 زمینه تولید انرژی الکتریکی از باد را مورد بررسی قرار داده‌اند.

با بررسی‌های صورت گرفته در پایگاه‌های معتبر داخلی نظیر پژوهشگاه علم و فناوری ایران^۳ و کتابخانه ملی^۴ 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 توسعه 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 پرنوسان 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 بهره‌وری، 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) می‌گردد.

۳. انتخاب روش تحقیق

روش ارزش خالص حال^۱

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 هزینه‌ها را به ارزش حال تبدیل کرده و از تفاضل درآمدها از هزینه‌ها 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 هزینه‌ها کوچکتر از ارزش فعلی درآمدها است [اسکوتزاد، 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^۲

نرخ داخلی 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 می‌گردد. [مجیدیان، داود، ۱۳۸۲].

روش هزینه همتراز شده^۳ (هزینه‌ی یکنواخت سالیانه)

در روش هزینه‌های همتراز شده، رویکرد مشابه روش ارزش فعلی استفاده می‌شود. در این روش هزینه‌ها به پرداخت سالیانه یکنواخت تبدیل می‌شوند. به بیان دیگر هزینه همتراز شده 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 طرح‌ها و افزایش ارزش سرمایه‌گذاری اولیه می‌پردازد. در حالی که از دید دولت عموماً سرمایه‌گذاری در طرح‌هایی انجام می‌شود که هزینه تمام شده پایین‌تری دارند. به عبارت دیگر برای دولت نیروگاهی که هزینه تمام شده تولید یک واحد انرژی الکتریکی در آن پایین‌تر باشد در اولویت احداث قرار می‌گیرد. در نتیجه شاخص‌هایی مثل سودآوری و ارزش خالص حال سرمایه‌گذاری، شاخص‌های بعدی برای ارزیابی محسوب می‌شود.

در تشریح این موضوع می‌توان 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 هزینه‌های سالیانه در طول چرخه عمر نیروگاه محاسبه می‌شود و مخارج اولیه (طراحی، دریافت گواهینامه، نصب)، مخارج عملیاتی، هزینه‌های تعمیر و نگهداری و هزینه‌های خارجی را شامل می‌شود. نرخ تنزیل معمولاً جهت محاسبه ارزش فعلی هزینه‌ها استفاده می‌شود که بر حسب درصد و به صورت سالیانه بیان می‌شود^۱.

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

های تعمیر و نگهداری و هزینه‌های سوخت در نظر گرفته می‌شود. از آنجا که هزینه‌های تعمیر و نگهداری و هزینه‌های سوخت به ترتیب با تورم و افزایش قیمت سوخت افزایش پیدا می‌کند، لذا می‌توان نرخ رشد افزایش آن‌ها را در محاسبات وارد کرد. هزینه‌های تعمیر و نگهداری در دو دسته ثابت و متغیر طبقه‌بندی می‌شوند.

در بخش دوم هزینه همتراز شده 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 آلاینده‌ها توسط نیروگاه‌های سوخت فسیلی اثر قابل توجهی بر هزینه همتراز شده تولید برق این نیروگاه‌ها دارد ولی بر هزینه تولید برق نیروگاه‌های بادی اثری ندارد.

با در نظر گرفتن این فاکتورها معادله نهایی هزینه تولید برق را می‌توان به صورت زیر نوشت^۱:

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

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 می‌کند.

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

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

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

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

در این رابطه CEC بیانگر هزینه‌های تحمیل شده بر جامعه (هزینه‌های اثرات خارجی) توسط گازهای آلاینده همچون CO₂، SO₂ و NO_x می‌باشد. فاکتور آلودگی EF میزان آلودگیها در یک واحد مصرفی انرژی سوختی را نشان می‌دهد. HR نرخ حرارتی نیروگاه‌های برق بوده و VED بیانگر ارزش میزان تخریب محیط می‌باشد. EF و HR مقادیر فیزیکی بوده که قابل محاسبه می‌باشند، در حالی که VED را می‌توان با تخمین مستقیم هزینه یا کاهش هزینه‌ها یا

ترکیب آنها محاسبه نمود. VED پارامتر مهمی برای تحلیل قوانین تنظیم کننده می باشد و لیکن محاسبه آن معمولاً دشوار است. هزینه اثرات خارجی در واحد برق تولید شده با استفاده از این عوامل و وارد کردن آنها در فرمول LCOE به طور مستقیم محاسبه می گردد. همانگونه که در روابط بالا دیده می شود LCOE را می توان بر پایه ی مجموع هزینه ی سرمایه، هزینه ی تعمیر و نگهداری، هزینه ی سوخت و هزینه اثرات خارجی مشخص کرد^۱. از آنجا که LCOE معیار اندازه گیری تولید برق در چرخه عمر نیروگاه است، لذا می بایست تمام هزینه ها را در محاسبه هزینه نهایی وارد کرد. جهت محاسبه این پارامترها به اطلاعاتی از قبیل پارامترهای عملیاتی نیروگاه، هزینه ساخت و اجرای نیروگاه، پارامترهای بازار انرژی و پارامترهای کلان اقتصادی نیاز است. در جدول ۱ لیست متغیرهای استفاده شده در معادله فوق ارائه شده است.

جدول ۱. تعریف پارامترهای معادله هزینه تراز شده

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

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

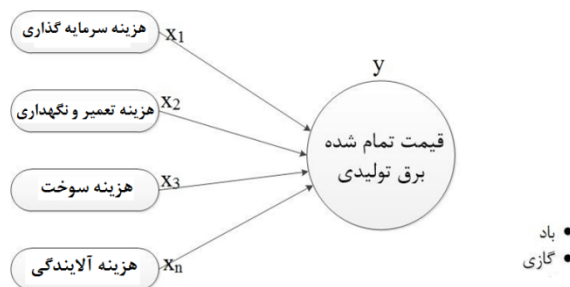
۴. روش تحقیق

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

بر توسعه بهره‌گیری 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 در مقایسه با نیروگاه حرارتی (گازی) در کشور بدست خواهد آمد و تبعات قیمتی اجرای هر سناریو چه خواهد بود. لازم به توضیح است که به منظور پیاده‌سازی 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 سالانه 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^۱. 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 سیاست‌های آزادسازی قیمت تمام شده انرژی در توسعه نیروگاه‌های بادی پرداخت. در این مطالعه صرفاً هزینه همتراز شده را از نقطه نظر سرمایه‌گذار بررسی می‌کنیم محل احداث نیروگاه را یکی از سایت‌های مناسبی که از طرف سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)

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 جزئیات 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، نیروگاه ها باید برای هر مترمکعب گاز هفتصد ریال و برای هر لیتر گازوییل سه هزار و پانصد ریال پردازند^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.

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

۲. آمار تفصیلی صنعت برق ایران سال ۹۰

جدول ۲. داده‌های ورودی مدل جهت بررسی تطبیقی نیروگاه‌های بادی 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 گازوئیل	دلار بر میلیون بی تی یو	۲۲,۶۲۲۹	-	-
۹	هزینه سوخت (FC) فعلی گازوئیل	ریال بر میلیون بی تی یو	۱۰۰,۸۶۶,۶۵	-	-
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 کیلووات ساعت) 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 نیروگاه ها بر مبنای قیمت های ریالی و دلاری در دو نوع سوخت گاز و گازوئیل به همراه مد نظر قرار دادن آلاینده های 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 بخش های اقتصادی و تورم عمومی اثراتی دارد، اما با توجه به اینکه در بررسی نیروگاه های بادی و گازی، بیش از ۸۰ درصد هزینه ها از جمله تجهیزات نیروگاه بادی و سوخت نیروگاه گازی را به صورت ارزی در نظر گرفته ایم، اثر افزایش نرخ ارز بر تورم عمومی در محاسبات ما تغییر چندانی به وجود نمی آورد.

جدول ۳. هزینه همتراز شده نیروگاه گازی (سوخت گاز) و نیروگاه بادی

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

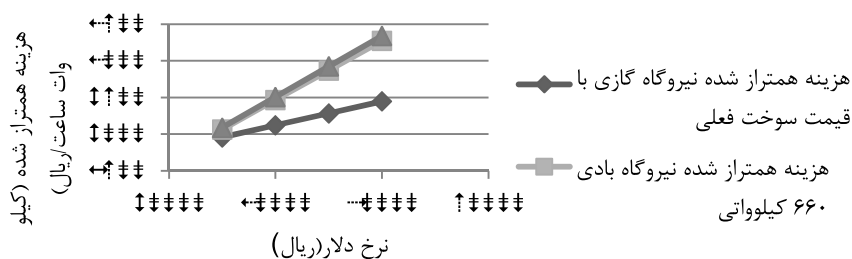
منبع: محاسبات محقق

با توجه به نتایج بدست آمده ملاحظه می‌شود که آزاد سازی قیمت انرژی مخصوصاً قیمت سوخت مصرفی نیروگاه‌ها بر مبنای قیمت های واقعی انرژی، استفاده از توربین های بادی را کاملاً 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.

جدول ۴. هزینه همتراز شده نیروگاه گازی (سوخت گازوئیل) و نیروگاه بادی

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

منبع: محاسبات محقق

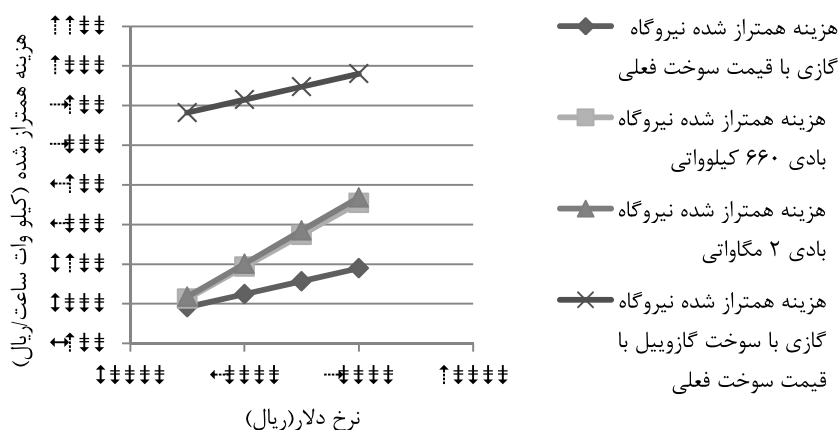


شکل ۳. مقایسه هزینه همتراز شده نیروگاه های گازی و بادی با قیمت فعلی سوخت گاز

منبع: محاسبات محقق

بر اساس شکل ۴ 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 می‌دهد که حتی هزینه آلاینده‌گی نمی‌تواند 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 می‌باشد.

با توجه به شکل ۵ در صورتی که از گازوئیل برای تامین سوخت نیروگاه‌های گازی استفاده شود کاملاً مشخص است که با توجه به قیمت بالاتر گازوئیل نسبت به گاز استفاده از نیروگاه‌های بادی کاملاً مقرون به صرفه خواهد بود. اگر قیمت گاز به صورت ریالی افزایش پیدا کند (مثلاً در گام‌های بعدی هدفمندی) و به قیمت ریالی گازوئیل نزدیک تر شود، شکل ۵ نشان می‌دهد که نیروگاه گازی با سوخت گاز نمی‌تواند با نیروگاه بادی رقابت نماید.

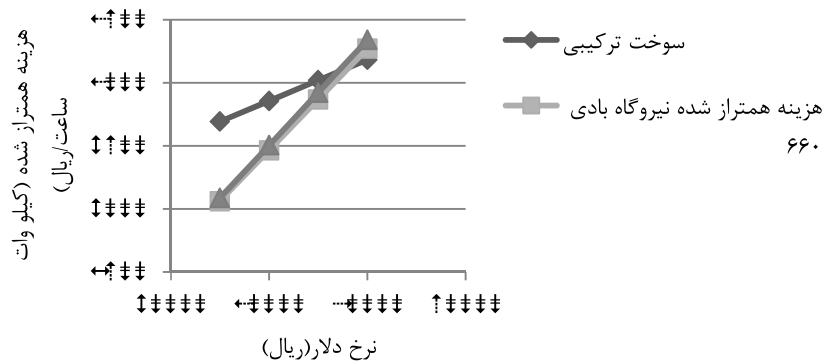


شکل ۴. مقایسه هزینه همتراز شده نیروگاه‌های گازی و بادی با قیمت فعلی سوخت گاز و گازوئیل

منبع: محاسبات محقق

در حال حاضر سوخت نیروگاه‌ها (در صورتیکه شرایط واقعی کشور در نظر گرفته شود) به دلیل مصرف گاز در کاربردهای خانگی در زمستانها معمولاً 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 نیروگاه‌های گازی و بادی بر مبنای ترکیب سوخت مصرفی گاز و گازوئیل با قیمت فعلی

منبع: محاسبات محقق

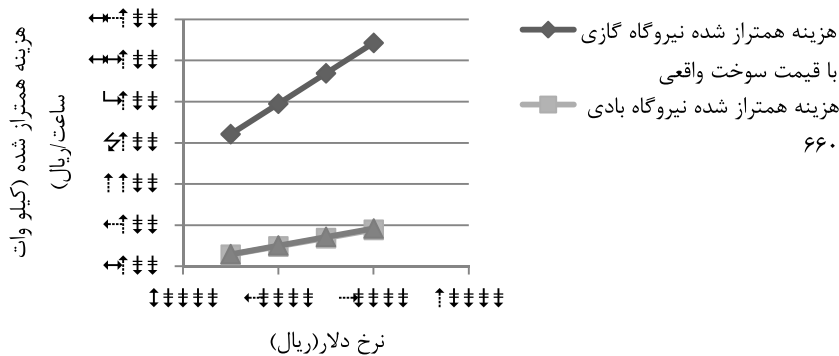
اگر قیمت سوخت مصرفی نیروگاه‌ها بر مبنای قیمت‌های واقعی محاسبه شود در هر دو وضعیت مصرف گاز به صورت تک سوخت و مصرف گاز و گازوئیل به صورت توامان، نیروگاه‌های بادی توجیه پذیر خواهند بود. از طرف دیگر با توجه به نزدیک بودن هزینه تولید برق با استفاده از توربین های ۶۶۰ کیلوواتی و ۲ مگاواتی، ضروری است استفاده 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 توربین ۳٫۳ مگاواتی برابر ۱۱۷ متر است. لذا با یک حساب ساده مشخص می شود که توربین ۳٫۳ مگاواتی نسبت 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 سائز^۱ بزرگ علی رغم اینکه شدت صدای تولیدی افزایش می یابد اما بعلاوت 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^۲ 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 ۲,۷۹۰ 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.

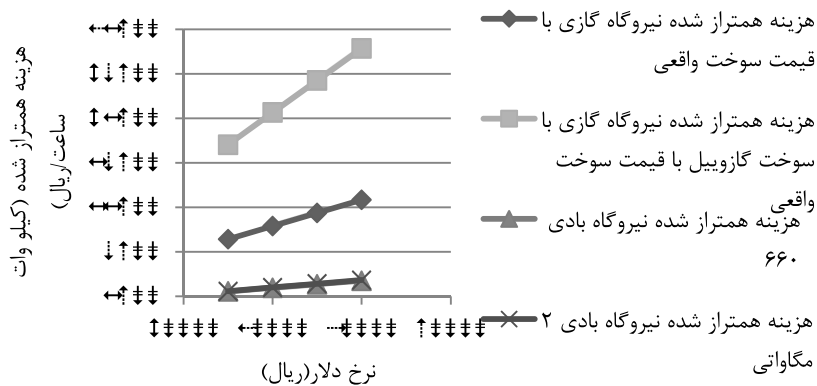
مطابق شکل های ۷ و ۸ قیمت تمام شده ی یک کیلو وات ساعت برق در نیروگاه بادی ۸/۳ سنت است (قیمت تمام شده در نیروگاه های ۶۶۰ کیلوواتی و ۲ مگاواتی تفاوت چندانی ندارند)، در حالیکه در نیروگاه گازی ۳۱ سنت و در نیروگاه گازویلی ۷۱ سنت و با سوخت ترکیبی گاز و گازوئیل ۴۲ سنت است. همچنین حساسیت قیمت تمام شده به قیمت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



شکل ۶. مقایسه نیروگاه های گازی و بادی با قیمت واقعی سوخت گاز

منبع: محاسبات محقق

1. Size
2. Decibel



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

منبع: محاسبات محقق

۵. نتیجه‌گیری

آزاد سازی قیمت انرژی مخصوصاً قیمت سوخت مصرفی نیروگاه‌ها بر مبنای قیمت‌های واقعی انرژی، استفاده از توربین‌های بادی را کاملاً 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 کاملاً مقرون به صرفه خواهد بود. اگر قیمت گاز به صورت ریالی افزایش پیدا کند و به قیمت ریالی گازوئیل نزدیک تر شود، نیروگاه گازی با سوخت گاز نمی‌تواند 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 نیروگاه‌های بادی فاصله خود را با نیروگاه‌های گازی بیشتر می‌کند و نیروگاه‌های گازی برق گرانتری را نسبت به نیروگاه‌های بادی تولید می‌کنند. البته در میان دو فناوری مورد بحث توربین‌های بادی، توربین‌های ۲ مگاواتی در صورتی هزینه کمتری نسبت به توربین‌های 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.

۶. 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 می توان اشاره کرد که چون خارج از محدوده فرضیات تحقیق می باشد با عنوان توصیه های سیاستی ارائه می شود:

الف) با توجه به اثر حذف یارانه های انرژی در افزایش بهره وری نیروگاه ها، قیمت سوخت دریافتی نیروگاه ها 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، افزایش قیمت خرید تضمینی برق بادی امکان پذیر و زمینه گسترش نیروگاه های بادی فراهم می شود.

ب) بر اساس نتایج تحقیق تفاوت قابل ملاحظه ای بین هزینه تمام شده برق تولیدی در نیروگاه های بادی با توربین های ۶۶۰ کیلو وات و ۲ مگاوات نیست. بنابراین پیشنهاد می شود با توجه به افزایش ظرفیت در نیروگاه های مگاواتی، بالاتر بودن سطح فناوری و کمتر بودن زمین مورد نیاز نیروگاه در توربین های مگاواتی، استفاده از توربین های 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 توربین های پرتوان مگاواتی در احداث نیروگاه های بادی اقدام شود.

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

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

ارزیابی اقتصادی بهره‌گیری از نیروگاه‌های بادی در ایران با ... ۱۹۹

- بنائی (همکاران)، محسن (۱۳۹۱) «برنامه‌ریزی سیاست‌های حمایتی از نیروگاه‌های بادی با در نظر گرفتن شرایط اقتصادی ایران»، نخستین کنفرانس انرژی بادی ایران، صفحه ۱-۱۱
- پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۷، متدولوژی تعیین سائز 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، صفحه ۱-۱۰
- خطی دیزآبادی (همکاران)، علی (۱۳۹۰) «امکان سنجی استفاده از توربین‌های بادی و فرآیند آن در مقایسه با سایر نیروگاه‌های با سوخت فسیلی»، همایش ملی اصلاح تولید و مصرف، صفحه ۱-۸
- 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، صفحه ۴۴۳-۴۴۵
- 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، صفحه ۱-۶
- مجیدیان، داود (۱۳۸۲) ارزیابی طرح‌های 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