فصلنامه اقتصاد انرژی ایران
سال دوم، شماره ۸، پاییز ۱۳۹۲، صفحات ۱۰۷-۹۳

بررسی راه‌های افزایش بهره‌وری در نیروگاه‌های گازی در ایران

حسین صادقی*، علیرضا ناصری و لیلا شهریاری*****

تاریخ دریافت: ۹ مهر ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: ۲۱ اسفند ۱۳۹۲

چکیده

رشد روزافزون تقاضای مصرف انرژی الکتریکی، احداث نیروگاه‌های جدید را اجتناب‌ناپذیر می‌کند. با توجه به سهم عمده نیروگاه‌های حرارتی از جمله نیروگاه‌های گازی در تولید برق کشور، احداث این نیروگاه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از آنجایی که هزینه احداث نیروگاه‌ها بسیار بالا می‌باشد می‌بایست بهره‌وری نیروگاه‌های موجود را افزایش داد و در مرحله بعد احداث نیروگاه جدید در نظرگرفته شود. یکی ازمهم‌ترین شاخص‌ها در صنعت برق راندمان نیروگاه‌هاست که معمولاً از دغدغه‌های صنعت برق و نیروگاه‌سازی در دنیاست تا بتوان با بالا بردن آن تا حد ممکن، جوابگوی نیاز برق مصرفی بود و هدررفت انرژی را به حدی منطقی رساند. این مقاله اثر عمر نیروگاه‌ها را بر راندمان آنها بررسی می‌نماید. ضریب کشش تابع برای این متغیر ۰/۰۷ بدست آمد ولی با رابطه عکس با راندمان و در کنار آن سایر عوامل اثرگذار بر افزایش بهره-وری، نیروگاه‌های گازی را مورد بررسی قرار می‌دهد. از جمله عوامل اثرگذار بر بهره‌وری این نوع نیروگاه‌ها، هزینه سوخت یا میزان سوخت مصرفی و عمر نیروگاه‌ها و میزان تولید آنهاست. در این تحقیق از داده‌های پنل ۳٤ نیروگاه گازی در ایران برای ٤ سال (۱۳۹۰-۱۳۸۷) استفاده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری انرژی، نیروگاه گازی، عمر متوسط.

طبقه‌بندی JEL: L95، H21.

* استادیار اقتصاد دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه تربیت مدرس sadeghih@modares.ac.ir
** استادیار اقتصاد دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه تربیت مدرس nasseri@modares.ac.ir
*** دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه تربیت مدرس
L_shahryari_67@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

۱. مقدمه

صنعت برق امروزه به عنوان موتور رشد و توسعه سایر بخش‌ها قلمداد می‌شود. این صنعت مهم و سرمایه‌بر می‌باشد. در کشور ما و کشورهای در حال توسعه، بدون سرمایه‌گذاری مناسب در توسعه صنعت برق نمی‌توان صحبت از توسعه اقتصادی کرد. میزان رشدی که برای صنعت برق در برنامه‌های دولت در نظر گرفته می‌شود حاکی از اهمیت نقشی است که این صنعت در توسعه اقتصادی آینده کشور ایفا می‌کند.

صنعت برق به دلیل نقش زیربنایی و ارتباط تنگاتنگ با عوامل مؤثر بر رشد اقتصادی، صنعتی پویا و تأثیرگذار است و افزایش کارایی و بهره‌وری در آن از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. بخش تولید برق که همان نیروگاه‌ها هستند، سرمایه‌برترین و مهمترین بخش در صنعت برق می‌باشد. میانگین بازده نیروگاه‌های گازی براساس نوع و مدت زمان بهره‌برداری از ۳۳ درصد تا ۳۸ درصد متغیر است که در صورت تبدیل آنها به سیکل ترکیبی می‌توان راندمان این واحدها را به نزدیک ۵۰ درصد رساند. در صورتی که بتوان همه راهکارهای موجود را برای افزایش بازده نیروگاه‌ها بکار گرفت، راندمان این تأسیسات به بیش از ۴۵ درصد نیز قابل افزایش است.

نیروگاه‌هایی که از ترکیب چند سوخت برای تولید برق استفاده می‌کنند، از راندمان بالاتری نسبت به سایر نیروگاه‌های متکی به یک نوع سوخت برخوردارند. علاوه بر این، نیروگاه‌هایی که از گاز طبیعی بیشتری استفاده می‌کنند، از راندمان بالاتری برخوردار هستند (خواجوی، ۱۳۸۷).

در این مقاله، ابتدا به پیشینه‌ای از مطالعات داخلی و خارجی انجام شده پرداخته می‌شود و سپس در بخش‌های بعدی به بررسی وضعیت نیروگاه‌های گازی و مفاهیم بهره‌وری انرژی وکارایی انرژی پرداخته می‌شود و درآخر تابع و مدل مورد نظر برای عوامل مؤثر بر راندمان نیروگاه‌ها بررسی می‌شود.

۲. پیشینه

الف) مطالعات داخلی انجام شده مرتبط با موضوع

امامی میبدی (۱۳۹۱) در مقاله‌ای بیان کرده است که برای تولید برق می‌توان تکنولوژی‌های مختلفی را مورد استفاده قرار داد. انتخاب ترکیب مناسب تکنولوژی برای تولید برق تأثیر مستقیمی بر میزان سوخت مصرفی دارد. از میان مولدهای مختلف، انواع چرخه ترکیبی و گازی ساده، بیش

Archive of SID

www.SID.ir

از نیمی از انرژی برق کشور را تولید می‌کنند. مزیت اصلی مولدهای چرخه ترکیبی در مقایسه با مولدهای گازی ساده، راندمان بالاتر یا مصرف سوخت کمتر است. این مطالعه به مقایسه دو مولد فوق پرداخته و یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد در سطح قیمت‌های یارانه‌ای سوخت، تبدیل نیروگاه گازی به چرخه ترکیبی و یا احداث مولدهای تجدیدپذیر برای تولید فاقد توجیه اقتصادی است.

حسینعلی‌پور (۱۳۸۸) در مقاله بررسی اقتصادی بازتوانی نیروگاه بخار در مقایسه با احداث نیروگاه گازی، به بررسی نقش پارامترهای تأثیرگذار در تعیین خصوصیات سیستم تبدیل انرژی بازتوانی به عنوان روشی تجربه‌شده و تعمیم‌پذیر که می‌تواند راهکار مؤثری برای احیاء شبکه نیروگاه‌های بخار کشور باشد، پرداخته است. با توجه به حجم قابل توجه سرمایه‌گذاری آتی صنعت برق کشور برای ساخت نیروگاه‌های گازی، هزینه برق تولیدی این نوع از نیروگاه‌ها را با روشهای بازتوانی مقایسه نموده است.

الهامی امیری (۱۳۸۴) در مقاله‌ای به بررسی راندمان نیروگاه‌های سیکل ترکیبی پرداخته و اثر گرمایش مجدد هوای خروجی از توربین‌های گازی را بر آن بررسی نمود. نتیجه این مشاهدات این بودکه تأثیر دمای محیط روی دمای خروجی توربین گازی و نیز تأثیر استفاده از سیستم فاگ[1] در شرایط مختلف آب و هوایی متفاوت است و برخی عوامل مانند کاهش دمای هوای محیط در طول سال و نیز استفاده از سیستم های خنک‌کن در هوای ورودی به توربین‌های گازی، باعث تقلیل دمای گازهای خروجی از توربین گازی می‌گردند. علاوه بر این مسئله، عدم کارکرد توربین‌های گازی در بار پایه نیز در کاهش دمای گازهای خروجی از آنها نقش بسزایی دارند.

امامی میبدی (۱۳۸۸) در مقاله اندازه‌گیری کارایی فنی و بهره‌وری در نیروگاه‌های بخاری وگازی و سیکل ترکیبی، به بررسی کارایی فنی نیروگاه‌ها در سال ۱۳۸۶ و بهره‌وری نیروگاه‌ها از سال ۸۶-۱۳۸۱ برای ۲۶ نیروگاه حرارتی پرداخته است. نتایج نشان داد که ناکارایی مقیاس بیشترین تأثیر را روی ناکارایی فنی دارد. رشد بهره‌وری تمام نیروگاه‌های مورد نظر طی سال‌های مورد بررسی به طور متوسط معادل ۱/۵ درصد بوده است و تأثیرگذارترین عامل در تغییرات بهره‌وری، تغییرات تکنولوژیکی معرفی شده است.

بهادری‌نژاد (۱۳۸۰) در مقاله‌ای به تأثیر سرد کردن هوای ورودی به کمپرسور با ذخیره‌سازی فصلی آب سرد در لایه‌های آبدار زیرزمینی در افزایش توان و بازده نیروگاه‌های گازی پرداخته است. از این طریق که در روزهای سرد سال، آب موجود در لایه آبدار زیرزمینی به بالا پمپ شده

1. Fog

Archive of SID

www.SID.ir

و با استفاده از آن هوای محیط خنک می‌گردد و دوباره به زیر زمین تزریق می‌شود. در این روش با وجود هزینه پایین نصب و نگهداری آن، از کارایی بالایی نیز برخوردار است.

بهدشتی (۱۳۸۳) افزایش ظرفیت واحدهای گازی نیروگاه زاهدان را به وسیله سیستم خنک‌کننده فاگ مورد بررسی قرار داده است. در این سیستم علاوه بر افزایش قدرت خروجی توربین، مزایای دیگری از قبیل کاهش مصرف سوخت و افزایش بازده و کاهش آلاینده‌های موجود در اگزوز نیز دارد.

ب) مطالعات خارجی

کی‌یونگ[1] (۲۰۱۱) در مقاله‌ای به استفاده از سیستم خنک‌کننده فاگ برای توربین‌های گازی اشاره کرده است به این صورت که برای افزایش توان خروجی از توربین‌های گاز و بهبود کارایی توربین‌های گاز در فصل‌های گرم سال از سیستم خنک‌کننده هوا استفاده می‌شود که اثرات قابل توجهی بر کارایی توربین‌های گازی دارد.

سوزان فرگوسن[2] (۲۰۱۰) در مقاله‌ای به بررسی راه‌های بهبود کارایی در نیروگاه‌ها با استفاده از جذب کربن پرداخته است. برای این کار لازم است که تقاضای انرژی کاهش یابد، چه از لحاظ حرارتی و چه از نظر الکتریکی. در کل می‌بایست در انجام تغییرات و بهبود کارایی، سیستم و طراحی نیروگاه را مورد توجه قرار داد.

فرانس ون آرت[3] (۲۰۱۰) در مقاله‌ای به بررسی عوامل مؤثر بر راندمان انرژی در نیروگاه‌های مختلف پرداخته است و میزان راندمان نیروگاه‌ها را به عوامل مختلفی نسبت داده است، از جمله نوع تولید نیروگاه، طراحی نیروگاه، شرایط خود نیروگاه و شرایط محیطی.

هیونگ جونگ[4] (۲۰۱۲) در مقاله‌ای به بررسی عامل مؤثر بر افزایش قدرت خروجی و بهبود کارایی توربین گاز براساس کاهش دما و خنک کردن هوای ورودی در دوره‌های گرمای هوا پرداخته است.

مارگاریتا جنیوس[5] (۲۰۱۲) در مقاله‌ای به اندازه‌گیری رشد بهره‌وری در نیروگاه‌های بخار تولید برق پرداخته است و برای این منظور از یک چارچوب نظری برای تجزیه و تحلیل عامل بهره‌وری جزیی و اندازه‌گیری فنی ناکارآمدی استفاده نموده است.

1. Kyoung (2011)
2. Souzan Fergousen (2010)
3. France Van Art (2010)
4. Heung Jong (2012)
5. Margarita Jenius (2012)

Archive of SID

www.SID.ir

۳. وضعیت نیروگاه‌های گازی

نیروگاه گازی به نیروگاهی گفته می‌شود که بر مبنای سیکل گاز کار می‌کند و از سیکل‌های حرارتی محسوب می‌گردد. یعنی سیال عامل کار یک گاز می‌باشد و عامل انتقال و تبدیل انرژی گازی است مانند هوا، اما در نیروگاه‌های بخار عامل انتقال بخار مایع می‌باشد. قدرت نیروگاه‌های گازی از Mw۱ و تا بیش از Mw۱۰۰ نیز ساخته می‌شود.

از آنجایی که نیروگاه‌های گازی برای پیک بار مناسب هستند نمی‌توان با تبدیل همه نیروگاه‌های گازی به سیکل ترکیبی مشکل را حل کرد. راه حل‌های دیگری در این میان برای افزایش راندمان نیروگاه‌ها مناسب به نظر می‌رسد که به برخی از آنها اشاره می‌شود:

- سرد کردن و خنک کردن توربین نیروگاه گازی
- از رده خارج کردن نیروگاه‌های قدیمی که با این کار متوسط عمر نیروگاه‌های گازی افزایش می‌یابد و نشان‌دهنده راندمان بالاتر این نیروگاه‌ها خواهند بود.
- شناسایی نیروگاه‌های فرسوده و تعمیرات اساسی آنها یا از رده خارج کردن آنها
- احداث نیروگاه‌های گازی جدید برای بالا رفتن متوسط عمر نیروگاه‌ها

مزیت نیروگاه گازی:

۱. سادگی آن: تمام تجهیزات روی یک شافت سوار است.
۲. ارزان بودن: چون تجهیزات آن کم است.
۳. سریع‌النصب است.
۴. کوچک است: در سکوهای نفتی که نیاز به تولید برق زیادی می‌باشد باید از نیروگاه گازی استفاده کرد تا جای کمتری بگیرد.
۵. احتیاج به آب ندارد: در سیکل اصلی نیروگاه نیاز به آب نیست اما در تجهیزات جنبی مثلاً برای خنک کردن هیدروژن بکار رفته جهت سرد کردن ژنراتور در سرعت‌های بالا نیاز به آب است.
۶. راه‌اندازی این نیروگاه سریع است.

یک نیروگاه بخار را بعد از راه‌اندازی نباید خاموش کرد، اما نیروگاه گازی بدین صورت است که صبح می‌توان روشن کرد و آخر شب خاموش نمود. همچنین نیروگاه گازی بسیار مناسب برای

Archive of SID

www.SID.ir

بارپیک است اما نیروگاه بخار برای بارپیک نامناسب می‌باشد (مپنا، شرکت مدیریت پروژه‌های نیروگاهی ایران).

معایب:

۱. آلودگی محیط زیست
۲. عمرکم: فرسوده شدن توربین و کمپرسور
۳. استهلاک زیاد: پره توربین، پره کمپرسور
۴. راندمان کم

دلایل راندمان پایین:

الف) خروج دود با دمای زیاد

ب) حدود ۱/۳ توان توربین صرف کمپرسور می‌شود. بنابراین در نیروگاه گازی برای استفاده درازمدت اصلاً جایز نیست چرا که هزینه مصرف سوخت، گران است.

۵. امکان استفاده از سوخت جامد فراهم نیست (مانند زغال سنگ) چرا که بلافاصله پره‌های رتور پر از دود می‌شود (گزارش معاونت روابط کار، ۱۳۸۹).

اگر زمان بهره‌برداری بالای ۲۰۰۰ ساعت در سال باشد نیروگاه بخار و اگر زمان بهره‌برداری در سال بالای ۵۰۰۰ ساعت باشد، نیروگاه آبی استفاده می‌شود. در کشور ما مصرف‌کننده عمده برق، بخش خانگی است (۶۰٪) و حدود ۳۰٪ برق صنعتی است. در نتیجه ۵۰ ٪ نیروگاه‌های کشور باید هر شب روشن شود؛ بنابراین قسمت عمده برق تولیدی ما باید از نوع نیروگاه گازی باشد. نیروگاه گازی را به دلیل ارزانی درکارخانجات نیز می‌توان بکار برد. نیروگاه گازی را در نیروگاه اتمی نیز به کار می‌برند و از آن در جهت سرد کردن راکتور استفاده می‌شود به این ترتیب که هوای داغ و فشرده شده به نیروگاه گازی داده می‌شود که برق مصرفی نیروگاه اتمی را تأمین می‌کنند.

در نیروگاه‌های گازی جهت افزایش راندمان روش‌هایی اتخاذ می‌شود:

۱. با دود خروجی هوای ورودی به اتاق را گرم می‌کند: سیکل پیچیده‌تر شده اما راندمان بالا می‌رود.
۲. استفاده از کمپرسور دو مرحله‌ای

Archive of SID

www.SID.ir

بالاترین راندمان چیزی در حدود ۳۵٪ است که نیروگاه دارای کمپرسور دو مرحله‌ای، توربین دو مرحله‌ای و پیش‌گرم‌کن می باشد.

عیب اصلی نیروگاه‌های گازی در عدم استفاده گسترده در باردهی سیستم برای این نیروگاه‌ها، پایین بودن راندمان چرخه این نیروگاه‌ها است که نیاز به سیکل ترکیبی برای بالا بردن راندمان می‌باشند. عیب دیگر آنها این است که سازگاری در استفاده از سوخت‌های جامد را ندارند. انتظار نمی‌رود که طول مدت استفاده از نیروگاه‌های گازی بیش از ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ ساعت در سال باشد. علاوه براین برای استفاده از آنها در ساعات پیک بار نیاز به وجود سیستم مجهز نیروگاه بخار در کنار سیستم می‌باشد.

در این مقاله سعی بر این است تا عوامل مؤثر بر راندمان این نوع نیروگاه‌ها مورد بررسی قرار گیرد. در ابتدا با توجه به تئوری‌های مورد بحث چند متغیر را مورد بررسی قرار داده و سپس مدل براساس متغیرهای معنادار توصیف می‌شوند.

٤. مبانی نظری

از آنجا که منابع یک کشور عموماً محدود می‌باشد، افزایش بهره‌وری یک ضرورت برای ارتقای استاندارد زندگی یک ملت به شمار می‌رود. به طوری که در جهان کنونی، بهره‌وری به نوعی موتور توسعه اقتصادی و صنعتی تلقی شده و در اقتصاد تمامی کشورها، ارتقای بهره‌وری به اولویتی ملی تبدیل شده است. بهره‌وری امکان تولید ستانده مناسب با کیفیت بالاتر را فراهم می‌سازد و این امر در میزان قدرت رقابت در بازارهای داخلی و خارجی مؤثر است. به طور کلی در سطح کلان یک کشور، افزایش بهره‌وری منجر به افزایش رشد اقتصادی و کنترل نرخ تورم، افزایش قدرت رقابت اقتصادی، افزایش درآمد سرانه، کاهش هزینه‌ها و افزایش سودآوری، استفاده بهینه از منابع و افزایش تولید ناخالص ملی و ... می‌شود.

در کشور ما نیز طی سال‌های اخیر اهمیت بهره‌وری مورد توجه قرار گرفته است و اهداف کمی برای بهره‌وری جزیی و کلی عوامل تولید در برنامه‌های پنج‌ساله توسعه در نظر گرفته شده است. این تحقیق می‌تواند در ترسیم سیاست‌های کلان اقتصادی به طور غیرمستقیم برای دستیابی به رشد اقتصادی بیشتر مؤثر باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

آنچه در صنعت برق همواره مورد توجه بوده است بهره‌برداری بهینه و کارایی اقتصادی می‌باشد و در صنعت برق افزایش قیمت مواد سوختی، رشد سریع جمعیت و افزایش شدت مصرف انرژی به اهمیت آن در این بخش افزوده است. حال نیروگاه برق به عنوان تولیدکننده انرژی الکتریسیته که منابع بسیاری را به خود اختصاص می‌دهد تا چه حد توانسته برای تولید برق از نهاده کمتری استفاده کند؟

تولید همواره مستلزم داشتن عوامل تولید است. افزایش تولید از دو روش افزایش عوامل تولید و استفاده بهتر از عوامل تولید با اتخاذ مدیریت بهتر بر این منابع و بکارگیری روش‌های جدیدتر در ترکیب آنها قابل حصول است. یکی از راه‌های بهینه‌سازی ترکیب عوامل تولید، استفاده از مفاهیم کارایی و بهره‌وری می‌باشد.

این مقاله براساس روش بهره‌وری کلی و در حالت پارامتریک برای تابع تولید تعریف می‌شود و سپس براساس آن بیان می‌شود که چه عواملی در این مورد، بر بهره‌وری اثر داشته‌اند که در نهایت با تعمیم به داده‌های پنل و استفاده از مدل اثرات ثابت، ضرایب مدل بدست آمدند.

بهره‌وری انرژی: بهره‌وری انرژی از تقسیم ارزش افزوده و یا ستاده‌های ایجاد شده در طول یکسال مالی به ارزش انرژی مصرف شده برای تولید کالاها و خدمات در طول یکسال مشخص حاصل می‌شود. اقلام انرژی مصرفی شامل برق، گاز مایع، گاز طبیعی، گازوئیل، نفت سفید، نفت سیاه، زغال سنگ و هیزم و چوب است. این شاخص نشان می‌دهد که در قبال هر واحد انرژی مصرف شده چه میزان ارزش افزوده حاصل شده است.

از آنجایی که تولید تابعی از نیروی کار و سرمایه و انرژی و تکنولوژی است، ما با استفاده از این تابع تولید، تابع راندمان و عوامل مؤثر بر راندمان نیروگاه‌های گازی را تصریح می‌کنیم:

$$\text{تولید} = F(\text{نیروی کار، سرمایه، انرژی، تکنولوژی})$$

در اینجا از هزینه سوخت به عنوان عامل انرژی استفاده می‌شود و عمر نیروگاه‌ها را به عنوان تعریفی از عامل پیشرفت فنی بکار می‌بریم و برای تکنولوژی عامل راندمان را بکار می‌بریم.

۵. معرفی متغیرهای مدل

متغیرهای اصلی که وارد مدل خواهند شد به صورت زیر می‌باشد:

Archive of SID

www.SID.ir

$$E = F(A, PR, OC)$$

E= کارایی یا راندمان نیروگاه‌ها

A= عمر نیروگاه‌ها

PR= رشد تولید تجمعی نیروگاه

OC= هزینه تعمیر و نگهداری

• راندمان: با توجه به اینکه انرژی حرارتی یک کیلووات ساعت برق به طور ثابت ۸۶۰ کیلوکالری است، بازده واحدها یا نیروگاه‌های حرارتی از طریق فرمول زیر بدست می‌آید: (آمار تفصیلی وزارت نیرو، سال ۱۳۸۸)

راندمان حرارتی به درصد= (۸۶۰ تقسیم بر انرژی حرارتی مصرفی به ازای یک کیلووات ساعت برق تولید شده) × ۱۰۰

• عمر: متوسط عمر مفید نیروگاه‌های گازی در ایران ۲۵ سال در نظر گرفته شده است که اگر بتوان متوسط عمر را پایین آورد برای افزایش راندمان نیروگاه‌های گازی بسیار تأثیرگذار است.

هدف این مقاله بررسی رابطه بین عمر نیروگاه‌ها و راندمان آنها است که با توجه به سایر عوامل اثرگذار بر راندمان، آنها نیز در مدل وارد شده‌اند، از جمله:

• رشد تولید تجمعی: تغییرات جمع انرژی تولیدی مولدهای برق یک نیروگاه که در طی یک دوره زمانی معین مثلاً یکسال روی پایانه خروجی مولدها برحسب کیلووات ساعت یا مگاوات ساعت اندازه‌گیری می‌شود (آمار تفصیلی وزارت نیرو).

در اینجا از رشد تولید تجمعی سال‌های مختلف به عنوان یک متغیر اثرگذار بر راندمان بحث می‌شود و انتظار می‌رود با کاهش نرخ رشد تولید تجمعی در سال‌های مختلف، راندمان کاهش یابد.

البته با توجه به ترازنامه انرژی سال ۹۰، اکثر نیروگاه‌ها با گذشت زمان از سال ۸۰ تا ۹۰ با افزایش عمرکاری توربین‌ها، متوسط تولیدشان کاهش یافته است و متوسط رشد سالانه تولید نیروگاه‌ها برای ۱۰ سال گذشته منفی بوده است که این خود نشان‌دهنده این مسئله است که با افزایش عمر نیروگاه‌ها، تولید نیروگاه‌ها کاهش می‌یابد.

Archive of SID

www.SID.ir

• هزینه تعمیر و نگهداری: از آنجا که کل هزینه تولید شامل هزینه سوخت و هزینه استهلاک و هزینه لوازم عرضه تولید و هزینه تعمیر و نگهداری است ولی تاکنون روشی معرفی نشده است که بتواند هزینه‌های غیر از هزینه تعمیر و نگهداری را به صورت تابعی از راندمان (توان خروجی) بیان کند. در این مدل فقط از هزینه تعمیر و نگهداری به عنوان عاملی مؤثر بر راندمان بهره می‌گیریم.

تفاوت بار درخواستی در ساعات مختلف موجب می‌شود میزان بهره‌برداری از مولدهای مختلف در طول سال کاملاً با هم متفاوت باشد. بنابراین از آنجایی که راندمان و هزینه متغیر مولدهای مختلف با هم متفاوت است، این موضوع موجب تفاوت هزینه تأمین برق در ساعات مختلف می‌شود. گرچه راندمان بالای یک مولد تولید برق موجب کاهش هزینه سوخت می‌شود با این حال راندمان بالاتر به صورت رایگان حاصل نمی‌شود. در یک مدل بهینه‌یابی، می‌باید ارزش سوخت صرفه‌جویی شده با هزینه سرمایه‌گذاری برای حصول به راندمان بالاتر مقایسه شود. به عبارت دیگر ارزش سوخت صرفه‌جویی شده یکی از ملاک‌های انتخاب تکنولوژی تولید برق محسوب می‌شود. بدیهی است با ثبات سایر شرایط، بین میزان استفاده از یک مولد در طول سال و صرفه‌جویی ناشی از بهبود راندمان آن، یک رابطه مستقیم وجود دارد (امامی میبدی، ۱۳۹۱).

٦. برازش مدل

با توجه به متغیرهایی که معرفی کردیم شکل تابعی مدل به صورت زیر است:

$$E = F(A, FC, PR)$$
$$E = C_0 + C_1 A + C_2 OC + C_3 PR$$

از آنجایی که برای نشان دادن شدت اثر عوامل بر راندمان، به کشش هر متغیر نیاز داریم، نمی‌توان از فرم خطی تابع استفاده کرد. دراینجا از فرم نمایی برای تصریح مدل استفاده می‌کنیم:

$$E = A^{\alpha} PR^{\beta} OC^{\delta}$$
$$\ln E = C + \alpha \ln(A) + \beta \ln(PR) + \delta \ln(OC) + \varepsilon$$

این مدل با روش حداقل مربعات معمولی و برای داده‌های سال ۱۳۹۰-۱۳۸۷ به صورت پنل تخمین زده می‌شود. تکنیک‌های مورد استفاده برای تخمین مدل‌هایی با این گونه داده‌ها با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی عبارتند از:

Archive of SID

www.SID.ir

- مدل اثرات ثابت
- مدل اثرات تصادفی

در روش اثرات ثابت باید جمله عرض از مبدأ طی زمان ثابت باشد درحالی که در روش اثرات تصادفی عرض از مبدأ می‌تواند طی زمان تغییر پیدا کند. بنابراین به منظور انتخاب میان دو روش اثرات ثابت و تصادفی برای تخمین داده‌های انباشته شده از آزمونی که توسط هاسمن ارائه شده استفاده می‌کنیم.

فرضیه صفر: روش اثرات تصادفی کاراتر است.

فرضیه متقابل: روش اثرات ثابت کاراتر است.

چنانچه آماره آزمون محاسبه شده بزرگتر از X^2 جدول باشد فرضیه صفر رد می‌شود یعنی برابری برآوردهای این روش رد می‌شود. به این مفهوم که تفاوت در عرض از مبدأ مقاطع مختلف به صورت تصادفی نمی‌باشد پس اثرات تصادفی مناسب نیست.

جدول ۱. نتیجه آزمون هاسمن برای انتخاب بین اثر تصادفی و اثر ثابت

Test summery	Chi-sq statistic	Chi-sq d.f	Prob
Period random	۹/۰۶۵۵۷۰	۳	۰/۰۲۸۴

با توجه به نتایج بدست آمده از روش اثرات ثابت می‌توان استفاده کرد زیرا prob مسئله کمتر از یک دهم است.

آماره R^2 یا ضریب تعیین به عنوان معیار خوبی برازش خط رگرسیون استفاده می‌شود. به بیان دیگر می‌توان گفت که R^2 نسبت یا درصدی از تغییرات کل درمتغیر وابسته را که توسط متغیرمستقل X توضیح داده می‌شود، بدست می‌دهد (گجراتی، ۱۳۷۸). البته این آماره به تنهایی قابل اطمینان نیست و ممکن است متغیرهای کاذب باعث بالا رفتن مقدار این آماره شود. بنابراین باید در کنار آن به $\overline{R}^2$ یا ضریب تعیین تعدیل‌یافته نیز توجه کرد. اگر اختلاف این دو آماره زیاد نباشد کاذب بودن متغیرهای بکار رفته مردود است.

در اینجا آماره R^2 برابر با ۶۴ درصد بدست آمده است که نشانگر توضیح‌دهندگی نسبتاً بالای مدل بوده است. آماره F و t نیز در این مدل بسیار مناسب می‌باشند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. نتایج تخمین مدل

متغیر	ضریب	t-statistic	prob
عمر نیروگاه (A)	-۰/۰۷۷۹	-۹/۵۲	۰
رشد تولیدتجمعی	۰/۰۶۴۶	۸/۶۹	۰
هزینه سوخت	-۰/۰۰۴۴۴	-۱/۱۹	۰/۰۰۳۴
ضریب ثابت	۳/۰۷۷۹۲	۴۹/۴۷	۰

$$\ln E = ۳/۰۷۷ - ۰/۰۷۷\ln(A) + ۰/۰۶۴\ln(PR) - ۰/۰۰۴۴\ln(OC) + \varepsilon$$

با توجه به ضرایب بدست آمده می‌توان گفت که افزایش عمر نیروگاه‌ها باعث کاهش راندمان آنها می‌شود و ضریب عمر نیروگاه که در اینجا برابر با (۰/۰۷۷۹-) می‌باشد نشانگر کشش عمر نیروگاه نسبت به راندمان آن است یعنی با ازای یک درصد کاهش در عمر نیروگاه‌ها راندمان آنها تا حدود ۷صدم درصد افزایش می‌یابد. درکنار این متغیر، متغیرهای رشد تجمعی تولید نیروگاه و هزینه تعمیر و نگهداری نیز وجود دارند. ضریب متغیر تولید نیروگاه مثبت بدست آمده که بیانگر رابطه مستقیم تولید و راندمان نیروگاه می‌باشد. هزینه تعمیر و نگهداری نیز طبق فرضیه‌های مدل با راندمان رابطه عکس دارد که هرچه هزینه تعمیر و نگهداری افزایش یابد نشانگر این است که راندمان نیروگاه‌ها پایین‌تر است.

این مقاله به دنبال یافتن میزان اثر عمر متوسط نیروگاه‌ها بر راندمان آنها بود که با توجه به مطالعات پیشین و بررسی‌های انجام شده، یکسری متغیرهای اثرگذار بر راندمان نیروگاه‌ها تعریف شد و معناداری آنها بررسی شد. بحث دیگر اینکه عمر نیروگاه‌ها در ایران بالاست و به بیش از ۳۰ سال می‌رسند و بسیاری از نیروگاه‌های گازی با راندمان پایین تولید می‌کنند و بنابراین باید به دنبال راه حل مناسب بود. مثلاً نیروگاه گازی سمنان و بندرعباس و درود جز نیروگاه‌هایی هستند که با راندمان بسیار پایین تولید می‌کنند بنابراین باید با راه حل‌هایی در جهت افزایش راندمان آنها برآمد مثلاً با از رده خارج کردن نیروگاه‌های قدیمی و جایگزینی آنها با نیروگاه‌های جدید در جهت افزایش راندمان آنها برآمد.

به منظور افزایش راندمان نیروگاه‌های کشور، می‌بایست بسیاری از نیروگاه‌های قدیمی را از مدار خارج نمود؛ اما این امر تأمین برق کشور را دچار اختلال می‌نماید بنابراین می‌بایست با اقدامات موازی راندمان نیروگاه‌ها را افزایش داد.

Archive of SID

www.SID.ir

۷. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مقاله مهمترین متغیرهای اثرگذار بر راندمان نیروگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفتند که از بین آنها عمر نیروگاه و هزینه تعمیر و نگهداری و میزان تولید نیروگاه معنادار بودند. در این میان، متغیر عمر نیروگاه و هزینه سوخت رابطه عکس با راندمان نیروگاه داشتند و میزان تولید با راندمان رابطه مستقیم داشت و با یک تخمین اقتصاد سنجی به مقایسه رابطه‌ها پرداخته شد.

به منظور افزایش راندمان نیروگاه‌های کشور، می‌بایست بسیاری از نیروگاه‌های قدیمی را از مدار خارج نمود؛ بنابراین می‌توان با اقدامات موازی راندمان نیروگاه‌ها را افزایش داد که این کار به بومی‌سازی و وارد شدن تکنولوژی‌های جدید کمک می‌کند.

از آنجایی که نیروگاه‌های گازی برای پیک بار مناسب هستند نمی‌توان با تبدیل همه نیروگاه‌های گازی به سیکل ترکیبی مشکل را حل کرد. راه حل‌های دیگری در این میان برای افزایش راندمان نیروگاه‌ها مناسب به نظر می‌رسد که به برخی از آنها اشاره می‌شود:

- سرد کردن و خنک کردن توربین نیروگاه گازی
- از رده خارج کردن نیروگاه‌های قدیمی که با این کار متوسط عمر نیروگاه‌های گازی افزایش می‌یابد و نشان‌دهنده راندمان بالاتر این نیروگاه‌ها خواهند بود.
- شناسایی نیروگاه‌های فرسوده و تعمیرات اساسی آنها یا از رده خارج کردن آنها
- احداث نیروگاه‌های گازی جدید برای بالا رفتن متوسط عمر نیروگاه‌ها

منابع

الف- فارسی

امامی میبدی، علی و کیومرث حیدری (۱۳۹۱)، «بررسی تبدیل نیروگاه‌های گازی ساده به چرخه ترکیبی و تأثیر آن بر میزان مصرف سوخت فسیلی»، *پژوهشهای اقتصادی*، سال ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۱، صص ۴۶-۲۵.

امامی میبدی، علی، افقه، مرتضی و محمدحسین رحمانی صفتی (۱۳۸۸)، «اندازه‌گیری کارایی فنی و بهره‌وری در نیروگاه‌های گازی، بخاری و سیکل ترکیبی»، اقتصاد مقداری، دوره ۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۸۸، صص ۱۰۳-۷۹.

بهادری‌نژاد، مهدی و فرهاد بهافرید، «افزایش توان و بازده نیروگاه‌های گازی با سرد کردن هوای ورودی به کمپرسور با ذخیره‌سازی فصلی آب سرد در لایه‌های آبدار زیرزمینی».

Archive of SID

www.SID.ir

بهدشتی، علی، ابراهیم‌پور، حمید، سرگلزایی غلامرضا و فرشید ذبیحیان، «افزایش ظرفیت واحدهای گازی نیروگاه زاهدان بوسیله سیستم خنک‌کننده فاگ»، بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق، صص ۸۰۱-۷۹۱.

حسینعلی‌پور، مصطفی و عبدا... مهرپناهی (۱۳۸۸)، «بررسی اقتصادی بازتوانی نیروگاه‌های بخار در مقایسه با احداث نیروگاه‌های گازی»، نشریه *انرژی ایران*، سال ۱۲، شماره ۳۲، زمستان ۱۳۸۸. صص ۶۱-۴۱.

خواجوی، علی و سلیمان قاسمیان (۱۳۸۷)، «بررسی میزان اتلاف انرژی در فرایند تبدیل، توزیع و انتقال برق کشور»، *اقتصاد انرژی*، شماره ۱۰۷، مهر ۱۳۸۷.

رحمانی، بهرام (۱۳۸۱)، برآورد و تحلیل کارایی و بهره‌وری نیروگاه‌های حرارتی برق کشور با استفاده از روش DEA و SFA، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته توسعه اقتصادی و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز.

سخنور، محمد (۱۳۹۰)، اصلاح ساختار شرکت‌های توزیع برق جهت ارتقای کارایی در ایران»، رساله دکتری رشته اقتصاد دانشگاه تربیت مدرس.

مرزبان،حسین، اکبریان، رضا و علی قاسمی (۱۳۸۴)، «بررسی تقاضا برای انواع سوخت و جایگزینی بین آنها در نیروگاه‌های حرارتی تولید برق کشور (۱۳۸۰-۱۳۵۳)»، فصلنامه *پژوهشهای اقتصادی*، شماره ۱۶، تابستان ۱۳۸۴.

الهامی امیری، علیرضا، «اثرات گرمایش مجدد هوای خروجی از توربین‌های گازی بر روی راندمان نیروگاه‌های سیکل ترکیبی»، نامه *مکانیک شریف*، سال ۸، شماره ۲۴، صص ۵۹-۵۲.

ب- انگلیسی

Frans van Aart (2003), Energy Efficiency in IPPC installations October 21, Vienna.

Jūratė Jaraitė & Corrado Di Maria (2012), "Efficiency, Productivity and Environmental Policy: A Case Study of Power Generation in the EU", *Energy Economics*, No. 34, PP. 1557-1568.

Konstantinos Kounetas, Ioannis Mourtos & Konstantinos Tsekouras (2012), "Measuring Efficiency and Productivity Change in Power Electric Generation", *Energy Economics*, No. 34, PP. 930-941.

Kyoung Hoon Kim a, Hyung-Jong Ko a, Kyoungjin Kim a & Horacio Perez-Blanco (2012), "Analysis of Water Droplet Evaporation in a Gas Turbine

Archive of SID

www.SID.ir

Inlet Fogging Process", *Applied Thermal Engineering*, PP. 33-34 & PP. 62-69.

Margarita Genius, Spiro E. Stefanou & Vangelis Tzouvelekas (2012), "Measuring Productivity Growth under Factor non-substitution: An Application to US Steam-electric Power Generation Utilities", *European Journal of Operational Research*, No. 220, PP. 844-852.

P.Chiesa and E. Macchi (2004), "A Thermodynamic Analysis of Different Option to Break 60% Electric Efficiency in Combined Cucle Power Plants", *ASME j. of Eng*, for Gas Turbin & Power, P. 770.

Sepehr Sanaye & Mojtaba Tahani (2012), "Analysis of Gas Turbine Operating Parameters with Inlet Fogging and wet Compression Processes", *Applied Thermal Engineering*, No. 30, PP. 234-244.

Archive of SID

www.SID.ir