

افزایش بهره وری انرژی در بازده سیکل ترکیبی

علی اقبالی (۹۹۳۵۰۰۲)

چکیده:

مصرف انرژی در دنیای امروز به طور سرسام آوری رو به افزایش است. بشر مترقی امروز، برای تولید آب آشامیدنی، برای تولید مواد غذایی و برای کلیه کارهای روزمره خود به استفاده از انرژی نیاز دارد و بدون آن زندگی او با مشکلات فراوانی روبرو خواهد بود.

طبق برآوردهایی که دانشمندان می نمایند، از ابتدای خلقت تا سال ۱۲۳۰ ه. ش، بشر معادل کیلووات ساعت و در فاصله ۱۲۳۰ تا ۱۳۳۰ نیز کیلووات ساعت انرژی مصرف نموده است.

و پیش بینی می شود که فاصله ۱۳۳۰ تا ۱۴۳۰ مصرف انرژی تا کیلو وات ساعت باشد. امروزه قسمت اعظم مصرف انرژی به وسیله کشورهای صنعتی بوده و هر چه کشوری صنعتی تر بوده و از نظر اقتصادی مرفه تر باشد مصرف انرژی سرانه آن نیز بیشتر خواهد بود. به طوری که رابطه مستقیمی بین مصرف انرژی به خصوص مصرف انرژی الکتریکی و درآمد سرانه هر کشوری وجود دارد. نیروگاه های بخاری یکی از مهمترین نیروگاه های حرارتی می باشند که در اکثر کشورها، از جمله ایران سهم بسیار زیادی را در تولید انرژی الکتریکی بر عهده دارند، به طوریکه سهم تولید این نوع نیروگاهها حدود ۴۷/۳٪ کل تولید انرژی کشورمان می باشد.

کلید واژه ها:

نیروگاه سیکل ترکیبی،

مقدمه:

نیروگاه چرخه ترکیبی نیروگاهی است که شامل تعدادی توربین گاز و توربین بخار می شود. در این نوع نیروگاه، با استفاده از بویلر بازیاب، از حرارت موجود در گازهای خروجی از توربین های گاز، برای تولید بخار آب مورد نیاز در توربین های بخار استفاده می شود. اگر توربین گاز به صورت سیکل ترکیبی نباشد، گازهای خروجی آن، که می توانند تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد دما داشته باشند، مستقیماً وارد هوا شده و انرژی باقی مانده در آن هدر می رود. در حالی که در نیروگاه سیکل ترکیبی، از این انرژی استفاده شده و بویلر توربین بخار بدون نیاز به سوخت، بخار آب تولید می کند. بنابراین، با استفاده از این روش، راندمان سیکل افزایش می یابد.

به صورت تئوریک، انرژی قابل بازیابی از آگروز توربین های گازی حدود نصف انرژی تولید شده توسط خود توربین گاز است. بنابراین، توان توربین بخار حدود نصف توربین گاز خواهد بود. در برخی از طراحی ها، دو توربین گاز، انرژی مورد نیاز برای یک توربین بخار را ایجاد می کنند و در نتیجه، توان تولیدی توربین های بخار در حدود توربین های گاز می شود.

نیروگاه های سیکل ترکیبی (Combined cycle power plant) راه حل بسیار کارآمد، انعطاف پذیر، قابل اعتماد، مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست برای تولید برق است.

نیروگاه سیکل ترکیبی در واقع ترکیبی از توربین بخار و توربین گازی می باشد به نحوی که ژنراتور توربین گازی برق را تولید می کند، در عین حال انرژی حرارتی تلف شده از توربین گاز (توسط محصولات احتراق) برای تولید بخار مورد نیاز توربین بخار مورد استفاده قرار می گیرد و به این طریق برق اضافی تولید می شود. با ترکیب کردن این دو سیکل بهره بری از نیروگاه افزایش پیدا می کند. بازده الکتریکی از یک چرخه ساده کارخانه نیروگاه برق بدون استفاده از اتلاف گرما به طور معمول راندمانی بین ۲۵ تا ۴۰ درصد دارد، در حالی که همان نیروگاه با سیکل ترکیبی راندمان الکتریکی حدود ۶۰ درصد را دارد. همانطور که گفته شد این نیروگاه ها از ترکیب توربین های بخار و گاز ساخته می شوند و بسته به نوع توربین ها ، دیگ های بازیافت گرما ، و دستگاه های بازیابی انواع متعددی دارند.

با به کار گیری توربین های گازی در چرخه های ترکیبی می توان پایین بودن بازده آن را بر طرف کرد و در نتیجه آن را برای تامین بار پایه به کار گرفت، در عین حال از مزایای دیگر آن نیز مانند راه اندازی سریع و انعطاف پذیری آن در محدوده ی گسترده ای از بار بهره مند شد.

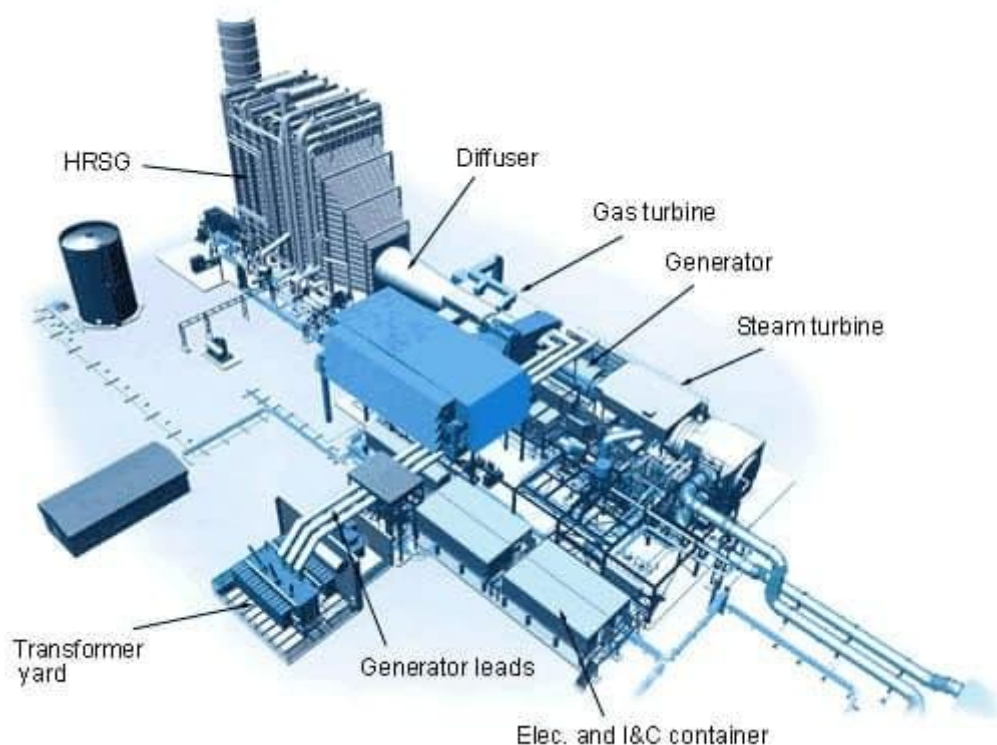
تاریخچه :

برای اولین بار ایده سیکل ترکیبی برای بهبود بازده سیکل ساده برایتون از طریق استفاده از حرارت گاز های خروجی توربین گازی در سال ۱۹۴۰ (۱۳۱۹ ه.ش) پیشنهاد شد.

این امر به وسیله بازیافت گرما مورد آزمایش قرار گرفت. بازیافت گرما توانست انرژی که از خروجی توربین گازی هدر می رفت را از ۷۰ به ۶۰ درصد انرژی داده شده برساند. مبادله گر گرما امکان افزایش توان خروجی را ندارد و فقط راندمان را افزایش می دهد. از آنجایی که مبادله گر گرما افت فشار زیادی را به سیکل وارد می کند، استفاده از آن باعث کاهش نسبت فشار توربین و در نتیجه کاهش توان خالص خروجی می شود. باتوجه به توان بیشینه چرخه های ساده، از آنها در جاهایی بهره می گیرند که راندمان خروجی از اهمیت کمتری برخوردار باشد. درحالی که چرخه های بازیابی را در مواردی مورد استفاده قرار می دهند که راندمان بالا نیاز است.

در نتیجه توان خروجی سیکل بازیاب در حدود ۱۱ تا ۱۴ درصد پایین تر از سیکل ساده است که در یک ارزیابی کلی به این نتیجه می رسیم که بازده نیروگاه توربین گازی همراه با بازیاب روش پرهزینه ای است. از این رو باید به دنبال روشی بود که از طریق آن بتوان به هر دو نیاز، یعنی راندمان و توان بالادست یافت. راه حلی که پیشنهاد شد در واقع بهره گیری از انرژی حرارتی بسیار بالای گازهای خروجی توربین گازی برای تولید بخار مورد نیاز نیروگاه بخار بود. توربین گازی

دارای گازهایی با دمای حدود ۱۲۰۰ تا ۱۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، و توربین گازی ماشینی با دمای حدود ۵۳۰ تا ۶۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که با ترکیب همزمان توربین گازی در طرف گرم و توربین بخار در طرف سرد را نیروگاه سیکل ترکیبی می‌گویند. اولین نیروگاه سیکل ترکیبی در ۱۹۵۰ (۱۳۲۹ ه.ش) ساخته شد. از آن به بعد تعداد نیروگاه‌های سیکل ترکیبی به‌خصوص در دهه ۱۹۷۰ (۱۳۴۹ ه.ش) به‌سرعت افزایش یافت.



معرفی نیروگاه سیکل ترکیبی فارس:

نیروگاه سیکل ترکیبی موثرترین نوع نیروگاه در بین تمامی نیروگاه‌هاست. در این نوع نیروگاه‌ها، طراحی بهینه سیکل جهت کاهش هزینه سوخت‌های مصرفی بسیار موثر است. مهم‌ترین نکته در مورد نیروگاه سیکل ترکیبی این است که از خروجی معین سیکل نیروگاه گازی بتوانیم بیشترین توان را از سیکل نیروگاه بخاری به دست آوریم. با توجه به اینکه سیکل ترکیبی بازده بیشتری نسبت به سیکل رنگین و برایتون دارد برای تولید توان نیز بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد و به جهت داشتن آلودگی کمتر در دنیا گسترش یافته است. تحلیل انرژی یک سیستم ترمودینامیکی سبب می‌شود که بتوان میزان اتلافات انرژی سیستم را برآورد کرد و راندمان مجموعه را محاسبه نمود. در اینجا منظور از انرژی حداقل کار قابل دسترس سیستم از حالت فعلی به حالت تعادل ترمودینامیکی با محیط اطراف است. تحلیل انرژی سیستم معمولاً ارتباط تنگاتنگی با مشخصات اقتصادی آن دارد، از این رو تحلیل ترمودینامیکی ابزار مناسبی است که این امکان را فراهم می‌کند تا قیمت واحد محصولات تولیدی را حساب کرده، میزان هزینه تلفات انرژی و تولید انرژی برآورد شود.

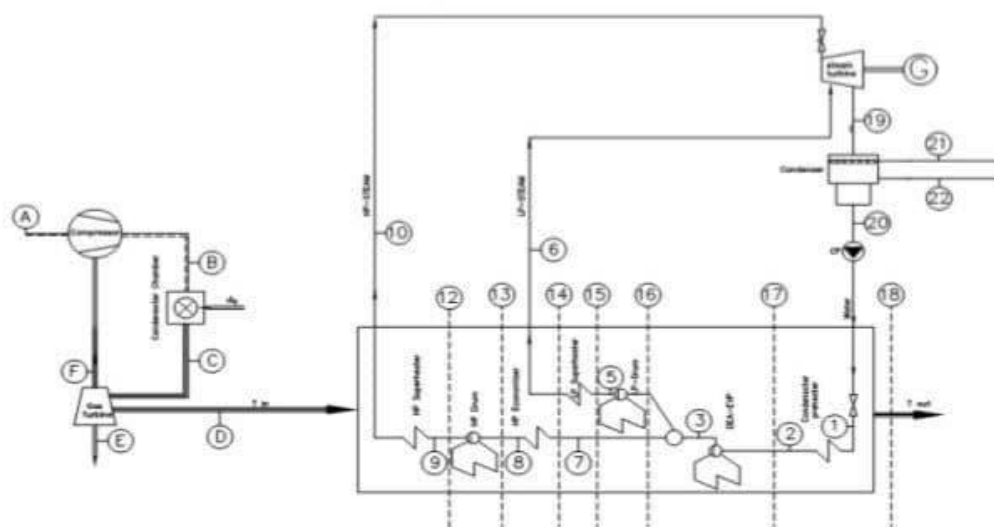
تاکنون کارهای زیادی در رابطه با تحلیل ترموکونومیک نیروگاه‌های سیکل ترکیبی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به کار داینس و روزن اشاره کرد که در آن به تحلیل انرژی و انرژی

نیروگاه بخار با پیش گرمایش برای حالت های مختلف راه اندازی و دما و فشار بویلر پرداخته شده است. همچنین احمدی و همکارانش به تحلیل ترمودینامیکی و ترمو اکونومیکی نیروگاه سیکل ترکیبی دو شاره نکا پرداخته اند. برزگر نیز یک نیروگاه سیکل ترکیبی را از لحاظ انرژی و اگزرژی و اگزژیواکونومیک تحلیل کرده است احمدی و همکارانش نیروگاه های سیکل ترکیبی ایران را از لحاظ انرژی و ترمو اکونومیک بررسی کرده اند. همچنین صیادی و همکارانش راکتور یک نیروگاه آب سبک را با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه سازی کرده اند. عمیدپور و همکارانش نیز یک نیروگاه هسته ای کوپل شده با آب شیرین کن را با استفاده از الگوریتم محاسباتی به صورت چندهدفه بهینه سازی ترمو اکونومیک کرده اند.

بهینه سازی سیکل های ترمودینامیکی به روش های متفاوتی همچون پینچ اگزرژی پینچ اگزرژی و ترمو اکونومیک انجام میگیرند که در هر کدام از این روشها متغیرهای متفاوتی میتواند به عنوان پارامتر طراحی مدنظر قرار گیرند در این مقاله از روش بهینه سازی ترمو اکونومیک استفاده شده است که پارامترهای طراحی و بهینه سازی آن نسبت فشار و راندمان کمپرسور دمای ورودی به توربین گاز و بخار فشار کندانسور و غیره میباشد. این بهینه سازی بر اساس تابع هدفی مشخص صورت می گیرد. این تابع میتواند هزینه کل نیروگاه که شامل هزینه خرید تجهیزات هزینه سوخت مصرفی و تعمیرات باشد. بهینه سازی در قالب یکی از الگوریتم های بهینه سازی و به منظور کمینه نمودن تابع هدف انجام شود. در این مقاله ابتدا نیروگاه سیکل ترکیبی فارس مورد تحلیل ترمودینامیکی قرار گرفته سپس ضمن انجام تحلیل اگزرژی به کمک الگوریتم ژنتیک و با مدل سازی در نرم افزار ایز به روش ترمو اکونومیک بهینه سازی شده است.

معرفی نیروگاه سیکل ترکیبی فارس نیروگاه سیکل ترکیبی فارس که نمای شماتیک آن در شکل ۲ نمایش داده شده است از شش واحد گازی هر یک با توان ۳/۱۲۱ مگاوات و سه واحد بخار هر کدام با توان ۲/۹۸ مگاوات تشکیل شده است. لازم به ذکر است که توربین بخار سیکل نیروگاه فارس

دو فشاره میباشد.



شکل ۲- شماتیک نیروگاه سیکل ترکیب فارس

بررسی وضعیت نیروگاه هایی که با سیکل ترکیبی فعالیت دارند:

نیروگاه گازی به نیروگاهی گفته می-شود که بر مبنای سیکل گاز کار می-کند و از سیکل-های حرارتی محسوب می-گردد. یعنی سیال عامل کار یک گاز می-باشد و عامل انتقال و تبدیل انرژی گازی است مانند هوا، اما در نیروگاه-های بخار عامل انتقال بخار مایع می-باشد. قدرت نیروگاه-های گازی از $Mw1$ و تا بیش از $Mw100$ نیز ساخته می-شود.

از آنجایی که نیروگاه-های گازی برای پیک بار مناسب هستند نمی-توان با تبدیل همه نیروگاه-های گازی به سیکل ترکیبی مشکل را حل کرد. راه حل-های دیگری در این میان برای افزایش راندمان نیروگاه-ها مناسب به نظر می-رسد که به برخی از آنها اشاره می-شود:

- سرد کردن و خنک کردن توربین نیروگاه گازی
- از رده خارج کردن نیروگاه-های قدیمی که با این کار متوسط عمر نیروگاه-های گازی افزایش می-یابد و نشان-دهنده راندمان بالاتر این نیروگاه-ها خواهند بود.
- شناسایی نیروگاه-های فرسوده و تعمیرات اساسی آنها یا از رده خارج کردن آنها
- احداث نیروگاه-های گازی جدید برای بالا رفتن متوسط عمر نیروگاه-ها

مزیت نیروگاه گازی:

سادگی آن: تمام تجهیزات روی یک شافت سوار است.

ارزان بودن: چون تجهیزات آن کم است.

سریع-النصب است.

کوچک است: در سکوی نفتی که نیاز به تولید برق زیادی می-باشد باید از نیروگاه گازی استفاده کرد تا جای کمتری بگیرد.

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 سرعت-های بالا نیاز به آب است.

راه-اندازی این نیروگاه سریع است.

یک نیروگاه بخار را بعد از راه-اندازی نباید خاموش کرد، اما نیروگاه گازی بدین صورت است که صبح می-توان روشن کرد و آخر شب خاموش نمود. همچنین نیروگاه گازی بسیار مناسب برای بارپیک است اما نیروگاه بخار برای بارپیک نامناسب می-باشد (مپنا، شرکت مدیریت پروژه-های نیروگاهی ایران).

معایب:

آلودگی محیط زیست

عمر کم: فرسوده شدن توربین و کمپرسور

استهلاک زیاد: پره توربین، پره کمپرسور

راندمان کم

دلایل راندمان پایین:

الف) خروج دود با دمای زیاد

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

امکان استفاده از سوخت جامد فراهم نیست (مانند زغال سنگ) چرا که بلافاصله پره‌های رتور پر از دود می-شود (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 می-شود. در کشور ما مصرف-کننده عمده برق، بخش خانگی است (۶۰٪) و حدود ۳۰٪ برق صنعتی است. در نتیجه ۵۰٪ نیروگاه-های 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 می-توان بکار برد. نیروگاه گازی را در نیروگاه اتمی نیز به کار می-برند و از آن در جهت سرد کردن راکتور استفاده می-شود به این ترتیب که هوای داغ و فشرده شده به نیروگاه گازی داده می-شود که برق مصرفی نیروگاه اتمی را تأمین می-کنند.

در نیروگاه-های گازی جهت افزایش راندمان روش-هایی اتخاذ می-شود:

با دود خروجی هوای ورودی به اتاق را گرم می-کند: سیکل پیچیده-تر شده اما راندمان بالا می-رود.

استفاده از کمپرسور دو مرحله

بالاترین راندمان چیزی در حدود ۳۵٪ است که نیروگاه دارای کمپرسور دو مرحله-ای، توربین دو مرحله-ای و پیش-گرم-کن می باشد.

عیب اصلی نیروگاه-های گازی در عدم استفاده گسترده در باردهی سیستم برای این نیروگاه-ها، پایین بودن راندمان چرخه این نیروگاه-ها است که نیاز به سیکل ترکیبی برای بالا بردن راندمان می-باشند. عیب دیگر آنها این است که سازگاری در استفاده از سوخت-های جامد را ندارند. انتظار نمی-رود که طول مدت استفاده از نیروگاه-های گازی بیش از ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ ساعت در سال باشد. علاوه بر این برای استفاده از آنها در ساعات پیک بار نیاز به وجود سیستم مجهز نیروگاه بخار در کنار سیستم می-باشد.

در این مقاله سعی بر این است تا عوامل مؤثر بر رانندمان 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.

نظریه ها:

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.

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 نیروگاه-های گازی را تصریح می-کنیم

= تولید F (نیروی کار، سرمایه، انرژی، تکنولوژی)

در اینجا از هزینه سوخت به عنوان عامل انرژی استفاده می-شود و عمر نیروگاه-ها را به عنوان تعریفی از عامل پیشرفت فنی بکار می-بریم و برای تکنولوژی عامل راندمان را بکار می-بریم.

نتیجه-گیری و پیشنهادات:

در این مقاله مهمترین متغیرهای اثرگذار بر راندمان نیروگاه-ها 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 رابطه-ها پرداخته شد.

به منظور افزایش راندمان نیروگاه-های کشور، می-بایست بسیاری از نیروگاه-های قدیمی را از مدار خارج نمود؛ بنابراین می-توان با اقدامات موازی راندمان نیروگاه-ها را افزایش داد که این کار به بومی-سازی و وارد شدن تکنولوژی-های جدید کمک می-کند.

از آنجایی که نیروگاه-های گازی برای پیک بار مناسب هستند نمی-توان با تبدیل همه نیروگاه-های گازی به سیکل ترکیبی مشکل را حل کرد. راه حل-های دیگری در این میان برای افزایش راندمان نیروگاه-ها مناسب به نظر می-رسد که به برخی از آنها اشاره می-شود:

- سرد کردن و خنک کردن توربین نیروگاه گازی
- از رده خارج کردن نیروگاه-های قدیمی که با این کار متوسط عمر نیروگاه-های گازی افزایش می-یابد و نشان-دهنده راندمان بالاتر این نیروگاه-ها خواهند بود.
- شناسایی نیروگاه-های فرسوده و تعمیرات اساسی آنها یا از رده خارج کردن آنها
- احداث نیروگاه-های گازی جدید برای بالا رفتن متوسط عمر نیروگاه-ها

منابع:

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 (201), "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 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 [In reply to Fateme

مامی میبدی، علی و کیومرث حیدری (۱۳۹۱)، «بررسی تبدیل نیروگاه-های 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)، «اندازه-گیری کارایی فنی و بهره-وری در نیروگاه-های گازی، بخاری و سیکل ترکیبی»، اقتصاد مقداری، دوره ۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۸۸، صص ۱۰۳-۷۹.

بهادری-نژاد، مهدی و فرهاد بهافرید، «افزایش توان و بازده نیروگاه-های گازی با سرد کردن هوای ورودی به کمپرسور با ذخیره-سازی فصلی آب سرد در لایه-های آبدار زیرزمینی».

بهشتی، علی، ابراهیم-پور، حمید، سرگلزایی غلامرضا و فرشید ذبیحیان، «افزایش ظرفیت واحدهای گازی نیروگاه زاهدان بوسیله سیستم خنک-کننده فاگ»، بیست و یکمین کنفرانس بین-المللی برق، صص ۸۰۱-۷۹۱.

حسینعلی-پور، مصطفی و عبدا... مهرپناهی (۱۳۸۸)، «بررسی اقتصادی بازتوانی نیروگاه-های بخار در مقایسه با احداث نیروگاه-های گازی»، نشریه انرژی ایران، سال ۱۲، شماره ۳۲، زمستان ۱۳۸۸، صص ۶۱-۴۱-۸۵۲.