

## بررسی انتخاب شیوه مناسب از روش جعبه هوای داغ در باز توانی نیروگاه های بخار

فرید پارسی مهر<sup>۱</sup> - کارشناس صنایع  
شرکت مدیریت تولید برق بیستون

### چکیده :

یکی از روشهای مهم و تجربه شده برای احیای شبکه نیروگاه های بخار باز توانی است که در حال حاضر با توجه به افزایش نیاز به برق در سطح جهان، موجبات افزایش نیاز به تولید این انرژی و افزایش قابلیت های تولید به وضوح احساس می شود. یکی از مشکلاتی که اکنون در شبکه تولید برق احساس می شود مربوط به نیروگاه های بخار است. بسیاری از این نیروگاه ها به پایان عمر مفید خود رسیده و یا نزدیک شده اند. همچنین با توجه به آمار و ارقامی که هر ساله منتشر می شود تعداد قابل توجهی از نیروگاه های بخار با اینکه عمر زیادی را سپری نکرده اند دارای راندمان قابل قبولی نمی باشند. اکنون با توجه به شرایط پیش آمده می توان از روشهای مختلف باز توانی نیروگاه ها بعنوان راهکاری قابل قبول جهت مدیریت مصرف انرژی استفاده کرد. در این مقاله بعد از معرفی روشهای مختلف باز توانی، به بررسی دو گونه باز توانی به روش جعبه هوای داغ پرداخته شده و نوع بهینه تر آن را متناسب با شرایط نیروگاه های بخار انتخاب می نماید.

### واژه های کلیدی : باز توانی ، نیروگاه بخار ، جعبه هوای داغ

### مقدمه :

- با توجه به نیاز روزافزون جهان به انرژی الکتریکی ، امروزه بسیاری از کشورها با کمبود تولید برق مواجه می باشند. به همین دلیل در برنامه ریزی های کلان بسیاری از کشورها افزودن ظرفیت جدید تولید برق در دستور کار قرار گرفته است. یکی از مرسوم ترین راهکارها برای تامین انرژی مورد نیاز، ساخت نیروگاه های جدید است. همچنین از دیدگاه مدیریت منابع انرژی با توجه به راندمان کم بسیاری از نیروگاه ها، مسأله راندمان اهمیت بسیار زیادی پیدا کرده است . اما در بعضی از مواقع به دنبال ساخت نیروگاه نمی رویم، زیرا:
- هزینه سرمایه گذاری لازم برای ساخت یک نیروگاه وجود ندارد.
- فضاهای مناسب و مطلوب برای ساخت نیروگاه جدید ، قبلاً توسط نیروگاه قدیمی اشغال شده است (در صورتی که انتخاب مکان نیروگاه های قبلی بر اساس استاندارد باشد).
- نیروگاه های قدیمی به دلیل استفاده از فناوری های قدیمی تر و فرسودگی تجهیزات، راندمان و ظرفیت عملی آن ها در طول زمان کاهش می یابد.
- راهکار دیگری که به منظور افزایش ظرفیت تولید بکار گرفته می شود باز توانی نیروگاه های بخاری قدیمی است که ما در این مقاله به بررسی معایب و مزایای انواع روش های جعبه هوای داغ و روش مناسب آن به عنوان یکی از شیوه های باز توانی در نیروگاه ها می پردازیم.

## بازتوانی :

۳۰ سال، بیش از ۳۴٪ می باشد [۲]، در واحدهای قدیمی تر راندمان کمتر از ۳۰ به وضوح مشخص است. وجود بخش مهمی از زیر ساختها و امکانات لازم (انتخاب سایت و ملاحظات مربوط به تأمین سوخت، ملاحظات آب، ملاحظات زیست محیطی، اتصال به شبکه، اخذ مجوزها و ...) در نیروگاههای قدیمی، در بسیاری از موارد بازتوانی آنها را در مقایسه با احداث واحدهای نیروگاهی جدید از توجیه فنی و اقتصادی مناسبی برخوردار می نماید.

با افزایش عمر واحدهای بخار مشکلات بهره برداری افزایش می یابد. افزایش خروجی های اضطراری و مشکلات عدیده بهره برداری واحدهای قدیمی شاهدهی بر این مدعا است. از طرف دیگر، به دلیل فرسودگی تجهیزات، راندمان و ظرفیت عملی واحد نیز کاهش می یابد. البته به دلیل استفاده از فناوریهای قدیمی تر، واحدهای بخار فرسوده ذاتا دارای راندمان نسبتا پایینی می باشند. بنابراین سپری شدن عمر بیش از ۴۲۰۰ مگاوات از ظرفیت نیروگاه های بخار کشور تا سال ۱۳۹۲ به معنای کاهش میزان تولید و نیز افزایش هزینه های بهره برداری خواهد بود.

## روشهای بازتوانی

روشهای بازتوانی به ۲ دسته کامل و جزئی تقسیم می شوند. در بازتوانی به روش کامل، نیروگاه موجود تبدیل به یک نیروگاه سیکل ترکیبی می شود که در آن بویلر نیروگاه بخار اولیه با یک بویلر بازتاب حرارت و توربین گاز جایگزین می شود. غالب نیروگاه هایی که به روش کامل بازتوانی می شوند دارای عمر بالای ۲۵ سال هستند. روشهای بازتوانی جزئی به ۳ صورت انجام میپذیرد که عبارتند از :

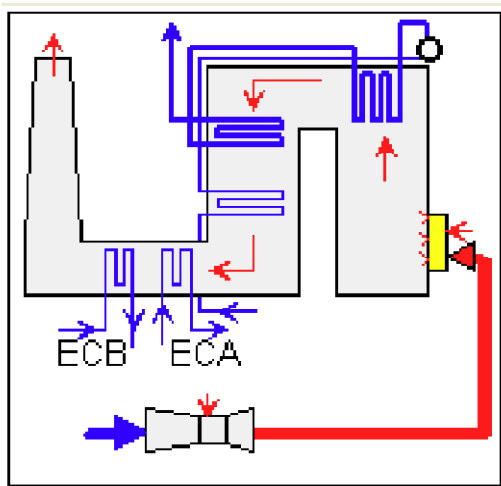
۱) **روش جعبه هوای داغ** : این روش با اضافه کردن توربین گاز به واحد موجود و فرستادن گازهای خروجی از توربین گاز به جعبه هوای داغ بویلر موجود انجام می شود. نیروگاه های مد نظر برای اینجام این روش بهتر است

قبل از صحبت درباره ی بازتوانی درباره ی یک موضوع جامع تر که بازتوانی، خود زیر مجموعه ی آن است صحبت می کنیم.

مهندسی مجدد به مجموعه فعالیت هایی می گویند که برای مدرن سازی یک مجموعه استفاده می شود تا به هدفهای ذیل برسیم:

- تولید با قیمت پایین تر
- افزایش راندمان
- سرمایه گذاری کمتر
- مدیریت بر تهدیدات سوخت
- کاهش اثرات مخرب بر محیط زیست

باز توانی به عنوان یکی از زیر شاخه های مهندسی مجدد در افزایش راندمان و بهینه سازی مصرف انرژی نقش بسیار مهمی را ایفا می کند. با بازتوانی نیروگاه های بخار علاوه بر افزایش ظرفیت تولید، راندمان نیروگاه نیز بهبود می یابد و از امکانات زیرساختهای موجود نیز به بهترین نحو استفاده خواهد شد. ایده بازتوانی حدودا به ۴ دهه قبل بازمی گردد و احتمالاً مربوط به نیروگاه مگنوکس در بریتانیا می باشد. در این نیروگاه به علت مسائل متالورژیکی دمای بخار به حدود ۵۰ درجه سانتی گراد تنزل یافته بود که با افزودن یک توربین گاز و استفاده از گازهای خروجی از توربین گاز به منظور بالا بردن دمای بخار، بهبود حاصل شد. بررسی بر روی بازتوانی نیروگاه های بخار توسط اشخاص و شرکتهای مختلفی ادامه یافت. بطور مثال یک محقق دانمارکی به نام **Elkraft** تحقیقاتی در زمینه بازتوانی گرم کن آب تغذیه انجام داد تا به ترکیب مناسبی دست یابد [۱]. سابقه اجرای بازتوانی نیروگاه های بخاری نیز قابل توجه است. در سنگاپور طرح تبدیل سه واحد ۱۲۰ مگاواتی یک نیروگاه بخار با عمر ۲۵ سال به سه واحد سیکل ترکیبی هر یک با ظرفیت ۳۶۰ مگاوات اجرا شد که موجب افزایش راندمان از ۳۸٪ به ۵۶٪ گردید مثال هایی از روشهای گوناگون بازتوانی در کشورهای مختلفی مانند ایتالیا، کانادا، ژاپن، تایلند و مکزیک وجود دارد که نشانگر تمایل نیروگاه ها به افزایش ظرفیت و راندمان می باشد. در حال حاضر راندمان اکثر نیروگاه های بخار کشور دارای عمر کمتر از

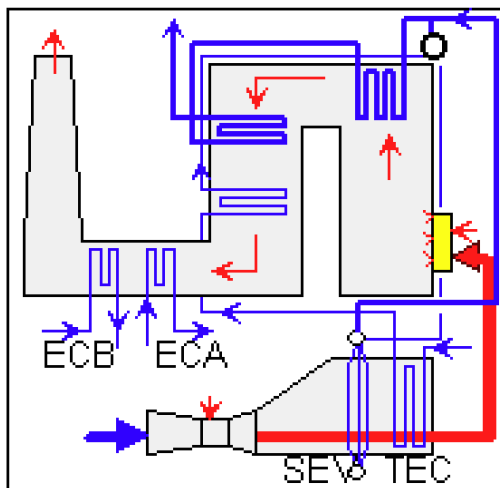


شکل ۱- شماتیک بازتوانی جعبه هوای داغ با استفاده از ۲ اکونومایزر [۶]

ب) بازتوانی جعبه هوای داغ با اوپراتور کمکی و خنک کننده خروجی توربین:

در این روش علاوه بر اوپراتور کمکی برای تامین بخار نامی توربین از یک خنک کننده گاز خروجی توربین نیز استفاده می شود که بسته به چیدمان خنک کننده و اکونومایزر دو حالت زیر قابل بررسی است:

- چیدمان سری
- چیدمان موازی



شکل ۲: شماتیک بازتوانی جعبه هوای داغ با استفاده از اپراتور کمکی و خنک کننده خروجی توربین در چیدمان سری [۶]

جدید و بزرگ باشند. ما در این مقاله به طور کامل به بررسی این روش می پردازیم.

۲) روش گرمایش آب تغذیه : در این روش از هوای خروجی از توربین گاز برای گرمایش آب تغذیه بویلر موجود استفاده می شود. نیروگاه های مناسب برای این روش همانند روش قبلی (جعبه هوای داغ) می باشند.

۳) روش بویلر کمکی : این روش شامل اضافه کردن مجموعه توربین گاز و بویلر کمکی به واحد موجود می باشد بدون آنکه بویلر موجود برداشته شود. بویلر بازتاب می تواند به شکلهای مختلفی به سیکل موجود اضافه شود [۳]

### بازتوانی با جعبه هوای داغ:

در این روش دود خروجی توربین گاز وارد جعبه هوای بویلر می گردد. این روش برای نیروگاه های بزرگتر و جدیدتر با سوخت گاز و مایع کارایی دارد. معمولا در بازتوانی به روش جعبه هوای داغ، توان تولیدی ۱۵ الی ۳۰٪ و راندمان ۳ تا ۶٪ افزایش می یابند. همچنین استفاده از این روش باعث می شود که آلودگی ناشی از تولید NOx کاهش یابد. [۴ و ۶]

انواع روشهای بازتوانی به روش جعبه هوای داغ به ۲ دسته کلی تقسیم می شوند. [۶]

الف) وارد کردن گازهای خروجی به جعبه هوای بویلر که این روش شامل مراحل زیر است :

- حذف هیترهای فشار بالا و استفاده از یک اکونومایزر
- حذف کلیه هیترها و استفاده از دو اکونومایزر
- بازتوانی جعبه هوای داغ با اوپراتور کمکی

## بررسی مشکلات در بازتوانی با استفاده از روش جعبه هوای داغ:

در روش جعبه هوای داغ محصولات احتراق بوجود آمده در توربین گاز به داخل جعبه هوای بویلر فرستاده می شوند تا به خاطر داشتن دما و انتالپی بالا احتراق را بهبود ببخشند، اما به دلیل درصد پایین اکسیژن تولید شده در توربین های گاز پیشرفته امروزی ، برای افزایش درصد در واکنش های احتراق تکمیلی در بویلر ، به گازهای خروجی از توربین گاز هوای تازه (۲۱٪ درصد هوا ، اکسیژن می باشد) اضافه می شود.

مشکلاتی که ممکن است در اثر کمبود اکسیژن در بویلر بوجود آید عبارتند از: [۵]

۱) دمای گازهای خروجی از توربین گاز حدود ۲۰۰ درجه سانتی گراد از هوای پیش گرم شده داخل بویلر بیشتر است، اما به دلیل کمبود اکسیژن دمای شعله مسلماً از مقدار طراحی کمتر خواهد بود و چون دما با توان ۴ در انتقال حرارت تشعشعی موثر است فلذا سهم تشعشع کمتر می شود و جذب حرارت به قسمتهای کنوکسیونی منتقل می شود که در نهایت ممکن است آب در انتهای سرد مسیر انتقال حرارت و قبل از رسیدن به اکونومایزر و درام به نقطه ی جوش برسد.

۲) بخاطر کمبود اکسیژن امکان ناپایداری شعله در احتراق تکمیلی در داخل بویلر بوجود می آید . بررسیهای انجام شده بر روی مدل های آزمایشگاهی کوره بویلر های گازسوز نشان می دهد که کاهش درصد مولی اکسیژن در هوای ورودی به زیر ، احتراق پایدار را با مشکل مواجه می کند.

در توربین های امروزی ، درصد اکسیژن در گازهای خروجی حدود ۱۱٪ است. پس باید هوای تازه را با آن مخلوط کرد. به

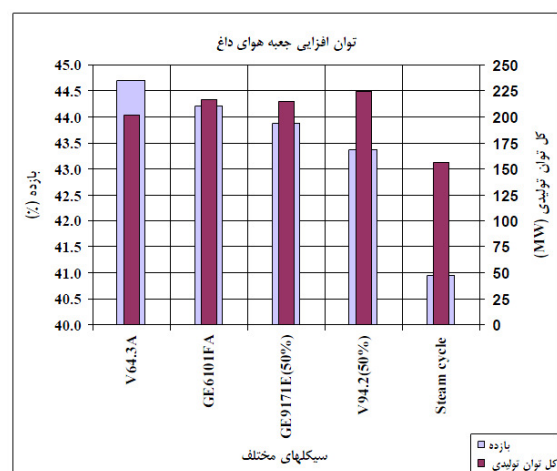
دو شکل می توان از هوای تازه استفاده کرد:

۱) اختلاط مستقیم هوای تازه با گازهای خروجی از توربین با اضافه کردن یک F.D.FAN ، ضمناً می توان در مسیر خروج از مبدل جهت پیش گرم کردن آب هم استفاده کرد.

تغییراتی که بخاطر استفاده از روش جعبه هوای داغ باید در سیستم اعمال شود عبارتند از [۶]:

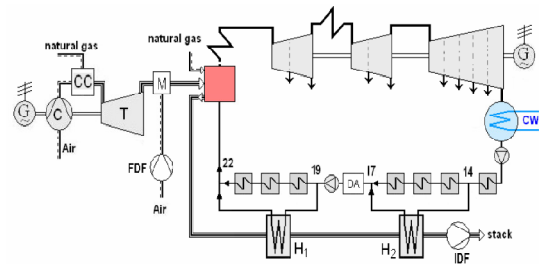
- اصلاح گرمکن های هوا به خاطر تغییر دبی دود و هوا
- تقویت کانال ها بخاطر افزایش دبی و درجه حرارت بخار
- تعویض یا اصلاح مشعل ها بخاطر کمبود اکسیژن موجود در دود خروجی از توربین گاز ، همچنین کمبود اکسیژن ممکن است باعث تغییر پروفیل حرارتی و در نتیجه موجب ایجاد تغییراتی در بویلر و سطوح حرارتی کوره نیز بشود.
- ایجاد یک کانال کنارگذر برای هدایت بخشی از دود به قسمت انتهایی اکونومایزر
- اضافه کردن یک گرمکن بخاری هوا برای عملکرد مستقل بویلر موجود در مواقعی که توربین گاز کار نمی کند.
- اضافه کردن یک دودکش کنار گذر برای توربین گاز برای زمان راه اندازی سیستم

در بازتوانی به روش جعبه هوای داغ نوع توربین گاز هم در کارایی این روش تاثیر دارد. شکل ۳ افزایش راندمان را توسط بازتوانی به این روش با توربین گازهای متفاوت در یک نیروگاه مقایسه می کند [۶].



شکل ۳- افزایش راندمان نیروگاه نمونه به روش جعبه هوای داغ با توربین گازهای مختلف [۶]

اکسیژن مورد نیاز بویلر از خروجی توربین گاز تامین می شود.



شکل ۴- اختلاط مستقیم هوای تازه با گازهای خروجی از توربین با اضافه کردن یک F.D.FAN

## بررسی المانهای مختلف نیروگاه در باز توانی:

### (۱) توربین گاز:

سیکل ساده توربین گاز شامل سه بخش کمپرسور، محفظه احتراق و توربین می باشد که روابط به کار رفته در هر قسمت به اختصار بیان خواهد شد.

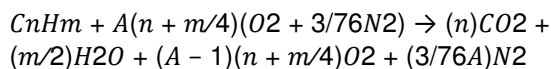
### (۲) کمپرسور:

هوا در شرایط استاندارد یعنی فشار اتمسفر و دمای ۱۵ درجه سانتی گراد وارد کمپرسور می شود. مقدار تغییر آنتروپی یک گاز واقعی به صورت زیر است:

$$ds = C_p \frac{dT}{T} - R \frac{dP}{P}$$

### (۳) محفظه احتراق:

هوا دقیقاً با همان شرایط خروجی از کمپرسور وارد محفظه احتراق می شود. فرض می شود که سوخت دارای فشار کافی برای ورود به محفظه احتراق می باشد و نیازی به استفاده از کمپرسور سوخت نیست. معادله احتراق در محفظه احتراق به صورت زیر است:

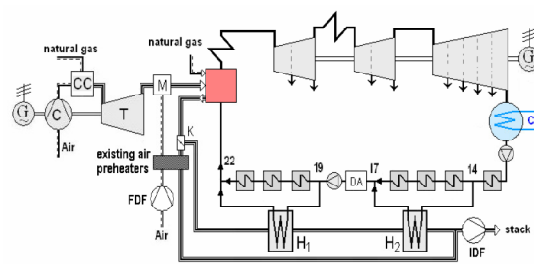


برای راحتی در محاسبات متان خالص به عنوان سوخت در نظر گرفته می شود. معادله بقای انرژی برای این واکنش به صورت زیر است:

$$\sum_{i=1}^n (n_i h_i)_{reactants} = \sum_{i=1}^m (n_i h_i)_{products}$$

در اینجا شرایط ورودی و دمای شعله به عنوان ورودی هستند و ترکیب گازهای خروجی و درصد هوای اضافی محاسبه خواهند شد.

(۲) استفاده از پیش گرمکن و فنهای موجود جهت پیش گرم کردن هوای تازه



شکل ۵- استفاده از پیش گرمکن و فنهای موجود جهت پیش گرم کردن هوای تازه

از آنجایی که تا کنون این روش در چند نیروگاه کشور انجام شده، با توجه به دسترسی به اطلاعات موجود و آنالیزهای مربوطه ما برای تشریح نتایج را در یک نیروگاه در نظر گرفتیم. و هر دوی این روش های باز توانی را بر روی سیکل بخار این نیروگاه ها بررسی می کنیم تا معایب و مزایای هر روش مشخص گردد. [۵]

برای تشخیص اثر مقدار دبی هوای تازه، پارامتری مانند  $\phi$  را تعریف می کنیم.

$$\phi = \frac{\dot{m}_{air}}{\dot{m}_{air} + \dot{m}_{GT}}$$

گاز خروجی از توربین: GT

هوای تازه: Air

که در آن هنگامی که  $\phi=1$  است، یعنی توربین گازی وجود ندارد و هنگامی که  $\phi=0$  است یعنی تمام

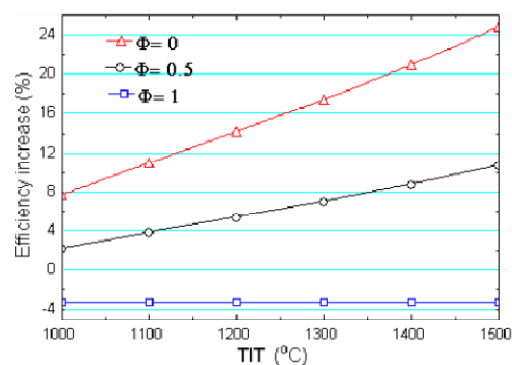
#### ۴) توربین:

نیروی و سید محمودی [۵] برای مدلسازی دقیق قسمت توربین از یک مدل توربین خنک کاری شونده استفاده کرده اند. انبساط واقعی در توربینهای گاز نیروگاهی، معمولا در ۳ یا ۴ طبقه جداگانه انجام می شود ولی در این مدل، انبساط به صورت پیوسته در نظر گرفته شده و مسیر انبساط به طبقات کوچک متعددی، با نسبت فشار دیفرانسیلی تقسیم شده است. با معلوم بودن دمای مجاز سطح پره به عنوان کمیت ورودی، افت دمای سکون و فشار سکون در اثر خنک کاری به روابط انبساط پلی تروپیک افزوده می شود. با استفاده از این مدل، کمیت های حاصل از مدلسازی با مقادیر واقعی مشاهده شده در توربینهای گاز موجود، از انطباق مناسبی برخوردار است. برای حل معادلات انرژی و بقای جرم باید یکی از پارامترهای سیکل بخار را به عنوان پارامتر قیدی ثابت فرض کنیم. پارامترهایی مثل دبی بخار ورودی به توربین، ماکزیمم دبی گازهای گذرنده از بویلر، بار حرارتی کندانسور و توان خروجی توربین بخار و...

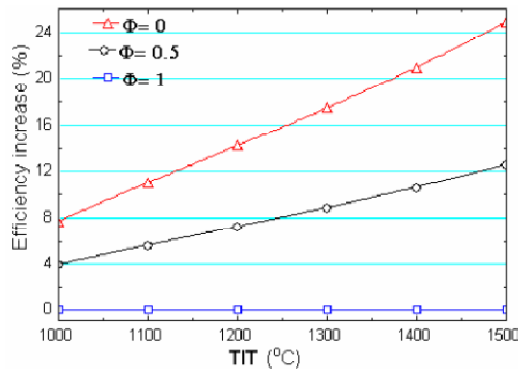
برای مثال اگر دبی بخار ورودی به توربین را ثابت فرض شود، دبی بخار در طبقات انتهایی توربین بخاطر کاهش دبی زیر کش های بالا دست، افزایش می یابد که باعث افزایش بار حرارتی کندانسور می گردد. در اینجا شرط محدودکننده سیکل را ثابت بودن توان خروجی از توربین در نظر گرفته شده است.

TIT = دمای ورودی به توربین بخار

حال بعد از حل معادلات و حصول جواب ها به بررسی آنها می پردازیم:

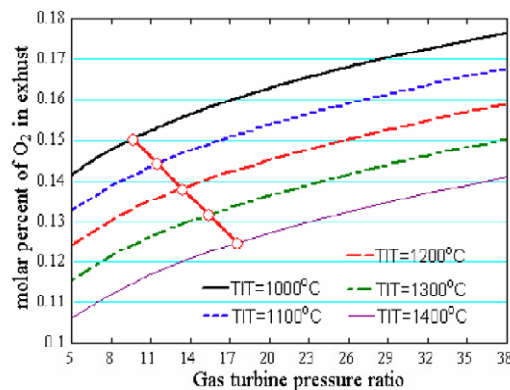


شکل ۶ - اثر TIT و  $\Phi$  بر افزایش راندمان در حالت الف



شکل ۷ - اثر TIT و  $\Phi$  بر افزایش راندمان در حالت ب

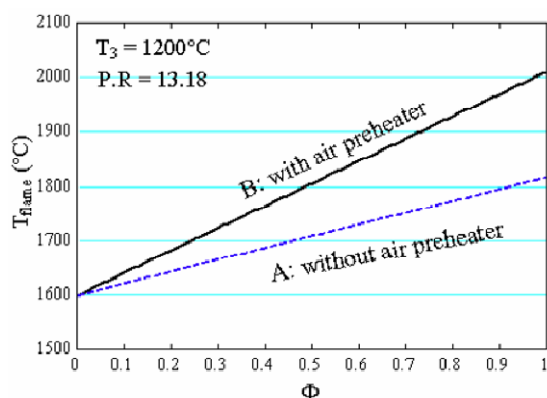
همانطور که مشاهده می شود در هر مقدار  $\Phi$  ثابت، با افزایش TIT، راندمان افزایش خواهد یافت. اما یک عامل محدودکننده وجود دارد و آن هم درصد اکسیژن است چرا که با افزایش TIT مقدار آن در گازهای خروجی از توربین گاز کم می شود که موجب مسئله ی ناپایداری شعله و دیگر مشکلات گفته شده می شود.



شکل ۸ - درصد اکسیژن در مخلوط گاز خروجی از توربین گاز به ازای TIT ها و نسبت فشارهای مختلف نشان داده شده است

همانطور که از شکل معلوم است مقدار اکسیژن در خروجی توربین های گاز پیشرفته با TIT بالا به حدی پایین است که دیگر نمی توان تمام اکسیژن مورد نیاز بویلر را از خروجی توربین گاز تامین کرد. حال برای بررسی دقیق تر عدد  $\Phi$  بر افزایش راندمان بعد از بازتوانی در شکل زیر درصد افزایش راندمان بر حسب  $\Phi$  در دمای ورود به توربین ثابت ( $TIT = 1200^\circ C$ ) برای هر دو طرح الف و ب نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود در  $\Phi = 0$ ، که از هوای تازه استفاده نمی شود هر دو طرح دقیقا مشابه می باشند. با افزایش

مشاهده می شود که برای طرح الف ، حتی زمانی که  $\Phi = 1$  است، دمای شعله به علت عدم وجود پیشگرمکن، در حدود ۲۰۰ درجه سانتی گراد از مقدار طراحی کمتر است ولی برای حالتی که پیش گرمکن حفظ شده است در تمامی مقادیر  $\Phi$  این مقدار بیشتر از حالت (الف) است و این موضوع یکی از مهمترین برتریهای حالت (ب) است.



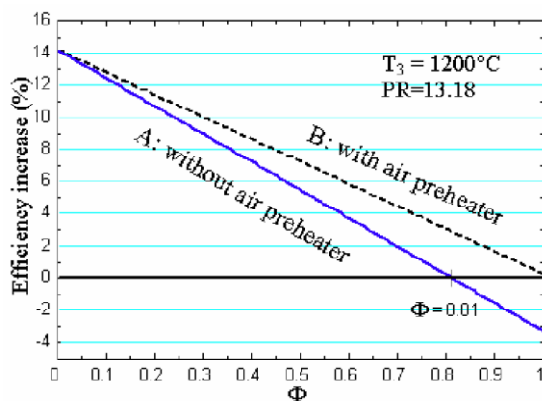
شکل ۱۰- تغییرات دمای شعله در کوره بر حسب تغییرات  $\Phi$

همچنین در موارد انجام شده بازتوانی به علت استفاده از گازهای خروجی توربین گاز، سیستم احتراق اولیه بویلر باید.

برای کار در شرایط جدید تغییر کند ولی در صورت استفاده از طرح (ب) دیگر نیازی به اینکار نخواهد بود، زیرا میتوان احتراق اولیه را با هوا انجام داد و سپس از خروجی توربین گاز در بویلر استفاده کرد.

به دلیل مزایای ذکر شده مطالعات اقتصادی نیز تایید کننده برتر بودن طرح (الف) نسبت به طرح (ب) است. برای مثال اگر در بازتوانی یک نیروگاه بخار، از هوای تازه و یک توربین گاز با توان متوسط و دارای تکنولوژی بالا برای تامین نیمی از هوای مورد نیاز بویلر استفاده شود، نسبت به حالتی که از یک توربین گاز با تکنولوژی پایینتر و توان بیشتر برای تامین تمام کل هوای مورد نیاز بویلر استفاده می شود، افزایش راندمان و نرخ بازگشت سرمایه بیشتری حاصل خواهد شد. [۵]

$\Phi$  و به طبع آن کم شدن دبی گازهای خروجی از توربین گاز نیاز به هوای تازه افزایش می یابد ، همچنین با اینکار مقدار سوخت بیشتری در کوره بویلر مصرف می شود و دبی سوخت مصرفی در توربین گاز کم خواهد شد. در نهایت این انتقال محل اضافه شدن سوخت باعث کم شدن درصد افزایش راندمان می شود.



شکل ۹- درصد افزایش راندمان برای دو حالت الف و ب بر حسب تغییرات  $\Phi$

همچنین با توجه به شکلهای (۶) و (۹) درصد افزایش راندمان برای طرحی که در آن پیش گرمکن هوا حذف شده است بعد از  $\Phi = 0.81$  منفی است و در  $\Phi = 1$  به حدود  $-3/30.3$  می رسد. این موضوع مساله بسیار مهمی در حفظ استقلال کارکرد سیکل بخار از توربین گاز می باشد. در حالت (الف) اگر به دلیلی توربین گاز از مدار تولید خارج شود و سیکل بخار به تنهایی به کار خود ادامه دهد، راندمان آن از حالت طراحی قبل از بازتوانی  $3/30.3$  درصد کمتر خواهد بود ولی با حفظ پیش گرمکنها و فنهای دمش اجباری (حالت ب) در صورت توقف کار توربین گاز، نیروگاه دقیقا به همان شرایط قبل از بازتوانی باز می گردد.

همانطور که در قبل بیان شد، تغییر دمای شعله در بویلر نیز پارامتر مهمی در بازتوانی به روش جعبه هوای گرم میباشد. این پارامتر تخمینی از میزان تغییرات مورد نیاز در سطوح انتقال حرارتی بویلر ارائه می کند. در شکل (۹) دمای شعله در احتراق تکمیلی در بویلر بر حسب  $\Phi$  برای هر دو آرایش (الف) و (ب) نشان داده شده است. دمای تئوری شعله در شرایط کارکرد واقعی و توان نامی در حدود  $2010$  درجه سانتی گراد است.

در مطالعه ای که توسط نیری و سیدمحمدی [۵] صورت پذیرفته بود، بازتوانی نیروگاه های موجود به روش جعبه هوای داغ در شرایطی که بخشی از اکسیژن مورد نیاز بویلر از خروجی توربین گاز و بخش دیگر از هوای تازه تامین می شد، مورد بررسی قرار گرفت.

در این بین، دو طرح مطرح گردیده است:

۱) در طرح اول هوای تازه مورد استفاده مورد استفاده بدون پیش گرمایش با خروجی توربین گاز مخلوط می شود و پیش گرمکن های هوا حذف می شوند.

۲) در طرح دوم با حفظ پیش گرمکن های موجود هوای تازه مورد استفاده، قبل از مخلوط شدن با گازهای خروجی از توربین گاز، پیش گرم می شود.

در مطالعات انجام شده مشخص شد که هنگام استفاده از هوای تازه در بازتوانی به روش جعبه هوا، حفظ پیش گرمکن های موجود، دارای مزایای زیر است:

- افت دمای شعله در کوره بویلر نسبت به حالتی که پیش گرمکن ها حذف می گردند، کمتر است و به همین دلیل میزان اصلاحات مورد نیاز در قسمتهای حرارتی بویلر نیز کمتر خواهد بود.

- با استفاده از پیش گرمکنهای موجود در بویلر، امکان کارکرد مستقل سیکل بخار از توربین گاز بعد از بازتوانی حاصل می شود.

- با حفظ پیش گرم کن های موجود در بویلر نیروگاه در شرایط برابر نسبت به حالتی که آنها حذف می گردند، افزایش راندمان بیشتر خواهد بود.

## منابع:

[1] Elkraft, Elsam. "Disposal of high-level waste from nuclear power plants in Denmark." *Salt dome investigations. Report prepared by Elsam and Elkraft 2* (1981).

[۲] آمار تفضیلی صنعت برق ایران، ویژه مدیریت راهبردی، ۱۳۹۳

[3] Mathieu, P. F. "Repowering options for existing power plants." *Thermodynamic*

[4] Shahnazari, Mohammad Reza. "Repowering as a Competitive Technology for Upgrading the Existing Power Plants." *JOURNAL OF MECHANICAL RESEARCH AND APPLICATION (JMRA)* (2011).

[5] Nayyeri, V., and S. M. Sayed-Mahmoodi. "Use of Fresh Air in Hot Windbox Power Plant Repowering Method." *21th Iranian Power System Conf.(PSC)*. 2006.

[۶] تناسان، محمد و رامین حقیقی خوشخو، ۱۳۸۹، مدیریت سمت تولید در نیروگاه بعثت با تکنیک های بازتوانی جعبه هوای داغ، کنفرانس بهینه سازی مصرف انرژی، تهران، موسسه همایش صنعت