

تعیین شاخصهای مرجع در واحدهای بخار نیروگاه شهید رجایی

کریم مظاهری مهری دهقاندی

دانشکده هوا و فضا

دانشگاه صنعتی شریف

تهران، ایران

علی عیسی پور شهرام عابدی

معاونت بهره‌برداری

شرکت برق منطقه‌ای تهران

تهران، ایران

isapour@yahoo.com
shahramabedi@yahoo.com

صنعت را شناسایی میکند ثانياً بواسطه این شناسایی میتوان اجرای طرح -
هایی به منظور بهسازی، افزایش راندمان، بهبود شرایط بهره‌برداری و ارتقاء
سطح تکنولوژی آن صنعت را از دیدگاه فنی و اقتصادی ارزیابی و برنامه
ریزی کرد.

یکی از دیدگاههایی که میتواند وضعیت عملیاتی یک نیروگاه حرارتی را
مورد ارزیابی قرار دهد، شناسایی و بررسی شاخصهای بهره‌برداری از آن
نیروگاه میباشد. افزایش عمر نیروگاههای حرارتی، بازسازی و یا تغییراتی که
در فرایند بهره‌برداری حاصل شده است، شرایط بهره‌برداری از نیروگاه را
نسبت به شرایط طراحی دچار تغییر و تحول کرده است. استخراج مقادیر
عملیاتی این شاخصها و مقایسه آن با مقادیر طراحی، انحرافات ایجاد شده
از شرایط طراحی را مشخص میکند. با تحلیل این انحرافات ایجاد شده
(مثلاً استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی نیروگاه)، میتوان وضعیت عملیاتی
نیروگاه، نقاط قوت و ضعف بهره‌برداری از آن را شناسایی و کمی کرد.

۲- شناسایی شاخصهای مرجع بهره‌برداری

با استفاده از اسناد موجود و همچنین مشاوره با مدیران و کارشناسان نیروگاه
و نتایج حاصل از مطالعات شرکت برق توکیو [۱]، برای ارزیابی عملکرد
نیروگاههای حرارتی ۱۷ شاخص عملیاتی تعریف شده است، که در
جدول (۱)، عنوان آنها آورده شده است. در روند دستیابی به شاخص بهینه
در نیروگاه ابتدا براساس اسناد طراحی و یا بهره‌برداری اولیه، مقادیر
شاخصهای بهره‌برداری استخراج میشود. سپس برای شناسایی شرایط
موجود، مقادیر شاخصهای عملیاتی تعیین میگردد. تعیین شاخصهای
عملیاتی بواسطه اندازه‌گیری، داده برداری و محاسبه شاخص مورد نظر در
شرایط فعلی نیروگاه میباشد. داشتن مقادیر طراحی و عملیاتی شاخصها و

چکیده - فرسوده شدن نیروگاههای حرارتی، عدم نظارت دقیق بر
بهره‌برداری از نیروگاهها و گاهی اوقات اولویت داشتن تنها توان تولیدی
در نیروگاههای حرارتی، شرایط بهره‌برداری از آنها را به مرور زمان
دچار تغییرات قابل ملاحظه‌ای کرده است. در همین راستا یکی از
دیدگاههایی که میتواند وضعیت عملیاتی یک نیروگاه حرارتی را مورد
ارزیابی قرار دهد، شناسایی و بررسی شاخصهای بهره‌برداری از آن
نیروگاه و تعیین شاخص مرجع جدید میباشد. در تعیین شاخصهای
مرجع در نیروگاه شهید رجایی، ابتدا شاخصهای بهره‌برداری نیروگاه
براساس اسناد طراحی و یا بهره‌برداری اولیه نیروگاه شناسایی شده سپس
در یک برنامه عملیات میدانی در نیروگاه، مقادیر شاخصهای مربوطه
داده برداری و یا اندازه‌گیری شده است. تحلیل اختلافات ایجاد شده در
شاخصها نسبت به شرایط طراحی، استفاده از ابزارهای مدلسازی نرم
افزار ترموفلو، اولویت بندی شاخصها در کنار در نظر گرفتن برخی
فرضیات، منجر به تعیین شاخصهای مرجع جدید در نیروگاه شهید
رجایی شده است.

واژه‌های کلیدی - شاخص مرجع، نیروگاه حرارتی، سیکل بخار،

سوخت

۱. مقدمه

تعیین شاخصهای بهره‌برداری در یک واحد صنعتی، مطابق با اسناد طراحی
و یا سطح مطلوب شاخصهای جهانی موجود اولاً شرایط موجود هر

مانیتور کردن اختلاف بین این مقادیر، با در نظر گرفتن عواملی چون عمر نیروگاه، شرایط بهره‌برداری و استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی می‌تواند به تحلیل اختلافات ایجاد شده در شاخصهای بهره‌برداری نسبت به شرایط طراحی کمک کرده و منجر به تعیین مقادیر بهینه شاخصها گردد.

۳- معرفی نیروگاه شهید رجایی

قرارداد ساخت نیروگاه حرارتی شهید رجایی برای تولید ۱۰۰۰ مگاوات در اسفند سال ۶۲ با شرکت صنایع سنگین میتسوبیشی (MHI) ژاپن در ۲۵ کیلومتر ۲۵ اتوبان قزوین- تهران به امضاء رسید. این قرارداد برج خنک کن و بویلر را شامل می‌شود. قرارداد خرید تکنولوژی بویلرهای نیروگاه بین شرکت توانیر و پیمانکار ژاپنی (MHI) و قرارداد دانش فنی، طراحی و ساخت برج خنک کن خشک نوع هلر با شرکت (EGI) و ترانس الکترو از مجارستان به امضاء رسید و پس از آن شرکت اتمسفر بعنوان سازنده سیستم برج خنک کن و شرکت آذراب بعنوان سازنده بویلر در نظر گرفته شد. اولین واحد این نیروگاه در مرداد ماه ۱۳۷۱ و چهارمین واحد در فروردین ۱۳۷۳ وارد شبکه سراسری برق کشور گردیدند. منبع تامین آب نیروگاه شامل ۷ حلقه چاه عمیق با ظرفیت آبدهی ۱۶۰۰ متر مکعب در ساعت است. در این نیروگاه گاز به عنوان سوخت اول و مازوت به عنوان سوخت دوم مورد استفاده قرار می‌گیرد. نیروگاه شهید رجایی دارای چهار بویلر مستقل بوده که درامدار با گردش طبیعی هستند. سیستم احتراق بویلر از نوع Opposite Firing می‌باشد. هر توربین نیروگاه دارای سه سیلندر فشار قوی - متوسط - ضعیف می‌باشد. ژنراتور نیروگاه از نوع ژنراتور سنکرون خنک شونده بوسیله هیدروژن است و سیستم تحریک آن بدون زغال می‌باشد. یکی از شیوه‌های ارزیابی شرایط عملکردی یک نیروگاه، بررسی آماری میزان تولید و مصرف انرژی الکتریکی در آن به صورت کلی و همچنین تفکیکی هر یک از واحدهای تولیدی در نیروگاه می‌باشد.

۴- توصیف فرایندی نیروگاه شهید رجایی

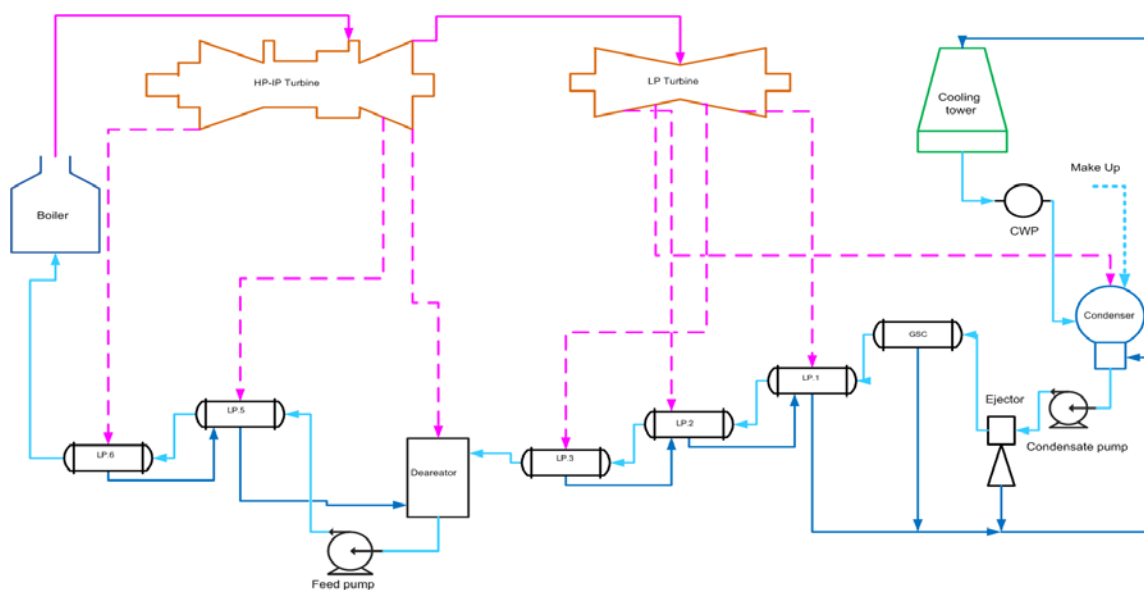
سیکل آب و بخار نیروگاه شهید رجایی در شکل (۱) ارائه شده است. بخار خروجی از توربین با فشار $0.193 \text{ kg/cm}^2\text{a}$ و دمای 59.3°C به کندانسور وارد و در اثر تماس و برخورد با لوله‌های حامل آب خنک‌کن، کندانس شده و به صورت مایع اشباع در ته کندانسور (چاهک داغ، Hot Well) جمع می‌شود. همچنین درینهای مربوط به هیت‌های پایین دست کندانسور با دبی $70,234 \text{ kg/hr}$ وارد کندانسور می‌گردند. سیستم برج

خنک‌کن نیروگاه شهید رجایی از نوع خشک هلر (نوع جت کندانسور) می‌باشد. آب کندانس خروجی از کندانسور به صورت مایع اشباع و با دمای 59.01°C و دبی جرمی $629,775 \text{ kg/hr}$ وارد پمپ آب کندانس می‌شود سپس آب کندانس مطابق طراحی با فشار 7.5 kg/cm^2 از آنها خارج می‌شود. آب سیکل پس از عبور از پمپ آب کندانس وارد ایجکتور می‌شود. وظیفه اصلی ایجکتور ایجاد و حفظ خلاء در کندانسور با استفاده از یکی از انشعابات بخار خط اصلی می‌باشد [۲].

آب سیکل پس از عبور از ایجکتور، وارد کندانسور بخار آببندی (GSC) می‌شود. در این کندانسور، حرارت بخار مورد استفاده در سیل‌های توربین به آب سیکل انتقال یافته و در نتیجه دمای آب افزایش می‌یابد. بخار آببندی گلندها نیز پس از کندانس شدن به کندانسور برمی‌گردد. آب سیکل پس از خروج از کندانسور بخار آببندی، به گرم‌کنها (یا هیت‌های) آب تغذیه که شامل پنج هیت‌ر بسته و یک هیت‌ر باز (دیاریتور) است جریان می‌یابد. هیت‌های ۱ تا ۳ از نوع بسته و فشار ضعیف و هیت‌های ۵ و ۶ از نوع بسته ولی فشار قوی می‌باشند. هیت‌ر شماره ۴ نیز از نوع باز می‌باشد. آب خروجی از دیاریتور (هیت‌ر ۴) که عملیات هوازادایی و اکسیژن‌زدایی بر روی آن انجام شده است به منظور افزایش فشار آن وارد پمپهای آب تغذیه می‌شود. برای این منظور مجموعاً سه دستگاه پمپ در نظر گرفته شده است که در شرایط نرمال عملیاتی دو دستگاه از آنها در سرویس قرار دارند. پمپهای آب تغذیه بویلر از نوع سانتریفیوژ افقی بوده و محرک آنها الکتروموتور می‌باشد. ظرفیت هر پمپ 510 ton/hr و توان موتور هر یک از آنها $3,850 \text{ KW}$ می‌باشد. مجموع دبی آب ارسالی به هر بویلر از طریق این پمپها برابر $779,469 \text{ kg/hr}$ است. مطابق طراحی دمای آب تغذیه ارسالی برابر 167.4°C و فشار آن حداکثر 177 kg/cm^2 می‌باشد. در نهایت آب خروجی از هیت‌ر ۶ با دمای 243.2°C و دبی $779,469 \text{ kg/hr}$ به سمت اکونومایزر بویلر ارسال می‌شود. به منظور کنترل فشار سیکل، چند مرحله تنظیم فشار قبل از ورود به اکونومایزر در مسیر در نظر گرفته شده است. سپس آب با عبور از بخشهای مختلف بویلر از جمله درام، واتروالها، سوپرهیت‌ر اولیه و ثانویه و دی سوپرهیت‌رها، به صورت بخار اشباع با دمای 541°C وارد توربین فشار قوی می‌شود. بخار ورودی به توربین فشار قوی بواسطه تولید توان، افت فشار و دمایی پیدا میکند، این بخار با دمای 349°C مجدداً وارد ریهیت‌ر بویلر می‌شود. بخار خروجی از ریهیت‌ر با دمای 538°C به سوی توربین فشار متوسط و سپس فشار پایین هدایت می‌شود. پس از انتقال انرژی حرارتی بخار به انرژی الکتریکی در توربین فشار پایین، بخار خروجی به سوی کندانسور هدایت می‌شود [۳].

جدول (۱): شاخص‌های بهره‌برداری نیروگاه‌های حرارتی

ردیف	کمیت مورد بررسی	ردیف	کمیت مورد بررسی
۱	فشار خط اصلی بخار	۱۰	دمای قبل از دی سوپرهیتور
۲	دمای خط اصلی بخار	۱۱	دبی آب اسپری
۳	دبی خط اصلی بخار	۱۲	بازده توربین اصلی (HP)
۴	دمای بخار ری هیت	۱۳	بازده بویلر
۵	درصد O2 موجود قبل از پیش‌گرمکن هوا	۱۴	فشار بخار اصلی بعد از اولین باکت (فشار ورودی به توربین)
۶	دمای گاز خروجی قبل از پیش‌گرمکن هوا	۱۵	وکیوم کندانسور
۷	دمای گاز خروجی بعد از پیش‌گرمکن هوا	۱۶	TD هیتور پر فشار
۸	دبی آب جبرانی (Make up)	۱۷	دبی سوخت مصرفی
۹	فشار Flash Tank		



شکل (۱): سیکل حرارتی نیروگاه شهید رجایی

برای مثال در جدول (۲) مشخصات توربین نیروگاه آورده شده است.

جدول (۲): مشخصات توربین نیروگاه شهید رجایی

Turbine Specification	
Type	single reheat condensing, two casing double flow type TC2F-19
Number of sets	4
Nominal Capacity	250 MW
Rated Speed	3,000 rpm
Number of extraction	6
Steam Pressure Inlet	140Kg/cm ² .abs.

۵- مشخصات تجهیزات نیروگاه شهید رجایی

یکی از الزامات شناسایی یک نیروگاه حرارتی علاوه بر شناسایی فرایندهای موجود، استخراج مشخصات فنی و عملکردی تجهیزات سیکل نیروگاه می باشد. سه دسته تجهیزات مورد بررسی به شرح ذیل می باشد.

- بویلر و تجهیزات جانبی
- توربین و تجهیزات جانبی
- سیستم کولینگ و تجهیزات جانبی

- دبی مازوت رفت و برگشت
- آنالیز و دمای گاز خروجی از دودکش

Inlet Steam Temperature		538 °C
Steam exhaust pressure to condenser		144.7 mmHg. abs
Number of stages	High Pressure part	1 stage of Curtis- 11 satges of reaction
	Intermediate Pressure part	11 stage reaction
	Low Pressure part	5 stge of reaction*2

۶- تعیین شاخصهای طراحی نیروگاه

نتیجه بررسی اسناد تجهیزات و فرایندهای نیروگاه با دیدگاه استخراج شاخصهای بهره‌برداری در جدول (۳) آورده شده است. برخی از شاخص - ها با توجه به گازسوز و یا مازوت سوز بودن واحد متفاوت میباشد که در جدول (۳) به آنها اشاره شده است. با توجه به اینکه نقطه کاری اسناد بهره برداری سیکل، اسناد بهره‌برداری بویلر و اسناد طراحی یکسان نمیشد، سعی شده مرجع مقادیر عنوان شده تا حد ممکن اسناد بهره‌برداری و در صورت عدم وجود از اطلاعات طراحی استفاده شود [۴].

۷- تعیین شاخص های عملیاتی نیروگاه

به منظور تعیین شاخصهای عملیاتی، فاز میدانی طرح با دو فعالیت اندازه گیری و داده‌برداری از تمامی واحدهای نیروگاه تعریف شده است. مشخصات برنامه عملیاتی نیروگاه در جدول (۴) آورده شده است. شاخص - های عملیاتی براساس داده های اندازه گیری، داده برداری و یا محاسباتی تعیین میشود.

جدول (۴): شرایط عملیاتی واحدهای نیروگاه شهید رجایی

شرایط عملیاتی	واحد	ساخت مصرفی	توان تولیدی (MW)
۱	واحد ۳	مازوت	234
۲	واحد ۴	مازوت	230
۳	واحد ۱	مازوت	230
۴	واحد ۲	مازوت	230

متغیرهای اندازه گیری شامل:

- دبی آب Feed Water
- دبی آب Make up
- دبی اسپری سوپرهیتر و ریپیت آب

براساس داده های اندازه گیری و داده‌برداری برای هر حالت عملیاتی که در جدول (۴)، آورده شده است، یک جدول عملیاتی تدوین شده است. بخشی از این، در جدول (۵) آورده شده است. جدول عملیاتی شامل سه دسته اطلاعات اندازه‌گیری، داده برداری و یا محاسباتی میباشد. اطلاعات اندازه گیری حاصل از اندازه‌گیریهای پرتابل بوده، اطلاعات داده‌برداری حاصل از داده‌برداریهای انجام شده از اتاق کنترل و سایت میباشد و اطلاعات محاسباتی حاصل از محاسبه شاخصها براساس اسناد تایید شده نیروگاهها است. شاخصهای محاسباتی تنها شامل راندمان توربین، راندمان بویلر است. راندمان توربین از خروجیهای نرم افزار ترموفلو بوده و محاسبه راندمان بویلر براساس راندمان مستقیم میباشد.

ردیف	کمیت مورد بررسی	واحد	داده برداری	اندازه گیری
۱	فشار خط اصلی بخار	Kg/cm ²	138.6	
۲	دمای خط اصلی بخار	°C	500	
۳	دبی خط اصلی بخار	ton/hr	725	
۴	دمای بخار ری هیت	°C	537	
۵	درصد O ₂ موجود قبل از پش گرمکن هوا	%	2.4(A)	1.31(A)

جدول (۵): مشخصات جدول شاخصهای عملیاتی

۸- مدلسازی نیروگاه در شرایط طراحی

به منظور ارزیابی عملکرد نیروگاه در شرایط عملیاتی مختلف همچنین تحلیل تاثیر هر یک از شاخصها بر عملکرد نیروگاه و در ضمن بررسی های جانبی چون آنالیز حساسیت شاخصها، نیاز است یک مدل نرم افزاری از نیروگاه ساخته شود. بدین منظور کل سیکل حرارتی نیروگاه شامل بویلر، توربینها، هیترهای آب تغذیه، برج خنک کن و سایر تجهیزات جانبی براساس اسناد طراحی در نرم‌افزار ترموفلو مدلسازی شده‌اند. نحوه مدلسازی بدین صورت است که اطلاعات نیروگاه براساس اسناد طراحی با توجه به ساختار نرم افزار به دو بخش ورودی و خروجی تقسیم شده است. وارد کردن ورودیها و تنظیم ثبات نرم افزار به گونهای است که خروجیهای مدل، با دادههای خروجی نیروگاه، بیشترین انطباق را داشته باشند. با توجه به اینکه ورودی ها و خروجی های مدل در یک مدل نیروگاهی بسیار گسترده میباشند، ورودی ها و خروجی های مدل تنها در قالب، شاخصهای بهره -

جدول(۹): تاثیر برخی از شاخصهای بهره‌برداری بر توان دریافتی از نیروگاه شهید رجایی

	Parameters	Gross Power (MW)
1	Main Steam Mass Flow (ton/hour)	25.06
2	Reheat Steam Temperature (°C)	12.6
3	LP Turbine Efficiency (%)	9.87
4	HP Turbine Efficiency (%)	6.78
5	Main Steam Pressure (kg/cm ²)	4.96
6	IP Turbine Efficiency (%)	4.81
7	Condenser Pressure (kg/cm ²)	1.52

برداری منعکس شده است. در جدول (۶) و (۷)، ورودیها و خروجیهای

مدل براساس شاخصهای بهره برداری برای مدل نیروگاه شهید رجایی

آورده شده است.

۹- آنالیز حساسیت شاخصهای بهره‌برداری

یکی از روشهای اولویت بندی برای پرداختن و اصلاح هر شاخص و یا تعیین شاخصهای گلوگاهی نیروگاه، تحلیل آنالیز حساسیت هر شاخص بر عملکرد نیروگاه میباشد. توابع هدف در این آنالیز حساسیت که به عنوان عملکرد نیروگاه محسوب میشود، توان دریافتی از واحد، بازده سیکل و یا بازده بویلر میباشد. بازده واحد متاثر از بازده سیکل و بازده بویلر میباشد که در ذیل رابطه آنها آورده شده است.

$$(\text{بازده بویلر}) \times (\text{بازده سیکل}) = \text{بازده واحد}$$

در این حساسیت سنجی، مقدار هر شاخص ۱۰٪ نسبت به شرایط طراحی تغییر داده شده است (۵٪ بالا، ۵٪ پایین) و تاثیر این تغییر بر توابع هدف (توان تولیدی و راندمان واحد) استخراج شده است. در جدول (۸) و (۹) تاثیر مهم ترین شاخصها بر توابع هدف آورده شده است.

جدول(۸): تاثیر برخی شاخصهای بهره‌برداری بر راندمان واحد نیروگاه شهید رجایی

	Parameters	Gross LHV Unit Efficiency (%)
1	Main Steam Temperature (°C)	4.33
2	Boiler LHV Efficiency (%)	3.88
3	Fuel Mass Flow (ton/hour)	3.38
4	Reheat Steam Temperature (°C)	1.95
5	LP Turbine Efficiency (%)	1.52
6	Rotary Air Heater Gas Inlet Temperature (°C)	1.18
7	Main Steam Pressure (kg/cm ²)	0.81
8	IP Turbine Efficiency (%)	0.74
9	HP Turbine Efficiency (%)	0.65
10	Rotary Air Heater Gas Exit Temperature (°C)	0.27
11	Condenser Pressure (kg/cm ²)	0.23

۱۰- مقایسه شاخصهای عملیاتی با شاخص های

طراحی و تحلیل عملکردی نیروگاه

بررسی اختلاف بین مقادیر شاخصهای عملیاتی و طراحی تا حدی بیانگر اختلافی است که به مرور زمان در شرایط بهره‌برداری نیروگاه حادث شده است. البته این اختلاف برخی عوامل را در نظر نمیگیرد از جمله میتوان به توان دریافتی از واحدها و یا عمر و فناوری نیروگاه اشاره کرد. این مقایسه هر چند جامعیت لازم را ندارد، شرایط مقدماتی مطلوبی را مهیا میکند تا با به کارگیری تحلیل عملکردی نیروگاه به شاخصهای مرجع دست یافته شود.

برای تعیین شاخصهای بهره‌برداری مرجع نیاز است شرایط بهره‌برداری در هر حالت به صورت دقیق مورد ارزیابی قرار گیرد. در این ارزیابی دو هدف دنبال میشود، اولاً بواسطه تحلیلهای صورت گرفته، وضعیت عملکردی واحد به خوبی تبیین شود ثانیاً با توجه به اینکه هدف اصلی تعیین شاخص - های بهره‌برداری است، تحلیلهای مربوطه، به تعیین مقدار شاخص مرجع کمک کند. شاخصهایی که به صورت مجزا و یا مجموعاً نیاز است برای تحلیل عملکرد نیروگاه مورد ارزیابی قرار گیرد، شامل موارد ذیل میباشد.

۱. انتقال حرارت داخل بویلر؛ در بررسی این موضوع چندین شاخص بهره‌برداری همزمان مورد بررسی قرار میگیرد که شامل دبی آب اسپری، دمای قبل از دو دی سوپرهیتر، دمای بخار خروجی از بویلر (ورودی به توربین)، دمای بخار ریهیت و دمای دود ورودی به ژانگستروم میباشد.

۲. سوخت مصرفی و راندمان بویلر

۱۲- نتیجه‌گیری

۳. فشار بخار

۴. دبی بخار

۵. راندمان توربین و فشار بخار بعد از اولین باکت

۶. دمای گاز خروجی از ژانگستروم و اکسیژن قبل و بعد از ژانگستروم

۷. دبی آب جبرانی

خوشبختانه در نیروگاه شهید رجایی برخلاف نیروگاههای بخاری دیگر، شرایط بهره‌برداری جاری نیروگاه، با شرایط بهره‌برداری اولیه تفاوت چندانی پیدا نکرده است. در فعالیت صورت گرفته، سعی شده است با بررسی و تحلیل عملکرد نیروگاه در بار نرمال در تمامی واحدها (شرایط مازوت سوز)، شرایط شاخصهای بهره‌برداری نیروگاه تبیین گردد.

در این نیروگاه بسیاری از شاخصهای مرجع منطبق بر شرایط طراحی و یا بهره‌برداری اولیه نیروگاه تعیین شده‌اند. یکی از نقاط قوت این نیروگاه نسبت به سایر نیروگاههای حرارتی از جمله نیروگاه بعثت، نیروگاه منتظر قائم (که در این نیروگاهها نیز شاخصهای مرجع تعیین شده‌اند) و حتی نیروگاه بیستون، اختلاف کمی است که در نشتی ژانگستروم ها نسبت به شرایط طراحی ایجاد شده است. مقدار نشتی در ژانگسترومهای این نیروگاه حدوداً ۱۲ درصد نسبت به شرایط طراحی فاصله گرفته است. البته برخی از شاخصها در این نیروگاه با مقادیر طراحی منطبق نبوده که میتوان به موارد ذیل اشاره کرد.

- مقدار آب جبرانی سیکل این نیروگاه حدود ۴/۵۷ درصد آب سیکل میباشد این در حالی است که این مقدار در نیروگاه منتظر قائم ۳/۷۳ می باشد [۵].
- دبی اسپری آب در برخی از واحدها تا دو برابر مقداری که طراح توصیه کرده است افزایش داشته است که بنابر نظر همکاران نیروگاهی این مشکل بواسطه خارج بودن هیترهای فشار قوی (بدلیل نشتی در آنها) میباشد.

مراجع

- [1] Thermal Power Department Tokyo Electric Power Plant " Textbook " 1995
- [2] IRAN TAVANIR SHAHID RAJAEI. "Heat Balance Diagram" 1983.
- [3] IRAN TAVANIR SHAHID RAJAEI. "Calculation Procedure for Turbine Performance Test", 1983.
- [4] Ishikawaiima harimn Heavy Industries Co., " Boiler Guarantee Performance" 1983.

[۵] شرکت مهندسی نواندیش، "ممنی انرژی و نیروگاه بخاری منتظر قائم در قالب طرح افزایش کارایی سال ۹۰، خرداد ۹۱.

۱۱- تعیین شاخص های مرجع

با تحلیل عملکرد نیروگاه، همچنین در نظر گرفتن فرضیات ذیل، برای شرایط موجود نیروگاه یک جدول شاخصهای بهره‌برداری مرجع تدوین شده است که در جدول (۱۰) آورده شده است.

۱. شاخصهای مرجع برای بار ۲۳۰ مگاوات تدوین شده است.
۲. برخی از شاخصها به عنوان Set Point های نیروگاه محسوب میشوند، این شاخصها با تغییر بار نیروگاه نمیبایست تغییر کنند. مانند دمای بخار اصلی و فشار بخار خط اصلی نیروگاه، دمای بخار ری هیت. مقدار این شاخصها منطبق بر اسناد طراحی و یا بهره برداری در نظر گرفته میشود.
۳. برخی از شاخصها مبتنی بر بار دریافتی از واحد می باشد از جمله این شاخصها می توان به دمای گاز قبل و بعد از ژانگستروم، دبی بخار خط اصلی اشاره کرد، این شاخصها براساس بار معرفی شده نیروگاه تعیین شده‌اند.
۴. برخی از شاخصها به صورت محدوده مجاز معرفی میشوند ولیکن سقف این مقدار براساس اسناد طراحی مشخص میشود. مانند دبی اسپری آب.
۵. برخی از شاخصها به صورت مستقیم تعیین نمیشوند، تعیین برخی از شاخصها منجر به تعیین شاخصهای دیگر میشود. مانند دمای گاز خروجی از بویلر که بر راندمان بویلر تاثیر گذار است.
۶. حادث شدن مقدار شاخص بهره برداری براساس اسناد طراحی در هر واحد مبین این نکته است که سایر واحدها نیز میتوانند به این شاخص دست پیدا کنند.

تعیین شاخص‌های مرجع در واحدهای نیروگاه شهید رجایی

بیست و نهمین کنفرانس بین‌المللی برق - ۱۳۹۳ تهران، ایران

جدول (۳): مقادیر شاخص‌های بهره‌برداری نیروگاه شهید رجایی براساس اسناد طراحی

ردیف	شاخص بهره‌برداری	واحد	مقدار کمیت	مرجع
۱	فشار خط اصلی بخار	Kg/cm ² .abs.	139.5	Performance test boiler
۲	دمای خط اصلی بخار	°C	541	Performance test boiler
۳	دبی خط اصلی بخار	kg/hr	840,000	Performance test boiler
۴	دمای بخار ری هیت	°C	355	Performance test boiler
۵	درصد O ₂ موجود قبل از پیش‌گرمکن هوا	%	0.93	Performance test boiler
۶	دمای گاز خروجی قبل از پیش‌گرمکن هوا	°C	367	Performance test method doc.
۷	دمای گاز خروجی بعد از پیش‌گرمکن هوا	°C	145	Performance test boiler
۸	دبی آب جبرانی (Make up)	kg/hr	-	Performance Test
۹	فشار Flash Tank	bar	9	Performance Test
۱۰	دمای قبل از دی سوپرهیتر			
۱۱	دبی آب اسپری	kg/hr	12000 (Fuel Oil) 89000 (NG)	Performance test boiler
۱۲	بازده توربین اصلی (HP)	%	85-90	
۱۳	بازده بویلر	%	94.9 (Fuel Oil) 95.4(NG)	Performance test boiler
۱۴	فشار بخار اصلی بعد از اولین باکت	Kg/cm ² .abs.	140	Performance Test
۱۵	وکیوم کندانسور	Kg/cm ² .abs.	0.194 (Fuel Oil) 0.1967 (NG)	Performance Test
۱۶	اختلاف دمای هیترهای پرفشار	°C	36.2 (Fuel Oil) 35.9 (NG)	Heater specification sheet
		°C	39.5	Heater specification sheet
۱۷	دبی سوخت مصرفی	Nm ³ ton/h	60,000 (NG) 60 (Fuel Oil)	

جدول (۶): ورودی‌های نرم افزار ترمو فلو و اختلاف مقادیر ورودی مدل با مقادیر اسناد طراحی

ردیف	کمیت مورد بررسی	واحد	مقدار کمیت در شرایط طراحی	مقدار ورودی در مدل	اختلاف %
۱	فشار خط اصلی بخار	Kg/cm ² .abs.	139.5	139.5	0
۲	دمای خط اصلی بخار	°C	541	541	0
۳	دمای بخار ری هیت	°C	541	541	0
۴	درصد O ₂ موجود قبل از پیش‌گرمکن هوا	%	0.93	-	-
۵	دمای گاز خروجی بعد از پیش‌گرمکن هوا	°C	145	145.2	0
۶	دبی آب جبرانی (Make up)	Kg/hr	7,400	7,457	0.77
۷	TD هیتر پرفشار	°C	36.2(Fuel Oil) 35.9(NG)	36.2 35.9	0 0
۸	دبی سوخت مصرفی	Nm ³ t/h	60,000	64,993	8
			60	60.15	0

جدول (۷): خروجیهای نرم افزار ترمو فلو و اختلاف مقادیر خروجی مدل با مقادیر استاندارد طراحی

ردیف	کمیت مورد بررسی	واحد	مقدار کمیت در شرایط طراحی	مقدار خروجی مدل	اختلاف %
۱	دمای گاز خروجی قبل از پیشگرمکن هوا	°C	367	367	0
۲	دبی آب اسپری	Kg/hr	12,000(Fuel Oil) 95,400(NG)	12,190 89,000	1.5 -6.7
۳	بازده توربین اصلی (HP)	%	85-90	85.92	-
۴	بازده بویلر	%	94.9(Fuel Oil) 95.4(NG)	94.9 95.13	0
۵	وکیوم کندانسور	Kg/cm².abs.	0.194(Fuel Oil) 0.1967(NG)	0.194 0.1963	0
۶	TD هتچر پر فشار	°C	36.2(Fuel Oil) 35.9(NG)	36.2 35.9	0 0
۷	دبی سوخت مصرفی	Nm³ t/h	60,000 60	64,993 60.15	8 0

جدول (۱۰): شاخصهای مرجع بهره‌برداری نیروگاه شهید رجایی در بار ۲۳۰ مگا وات

ردیف	کمیت مورد بررسی	واحد	مقدار طراحی	مقدار شاخص مرجع
۱	فشار خط اصلی بخار	kg/cm².abs.	139.5	139.5
۲	دمای خط اصلی بخار	°C	541	541
۳	دبی خط اصلی بخار	kg/hr	840,000	752.5
۴	دمای بخار ری هتچر گرم	°C	538	538
۵	درصد O ₂ موجود قبل از پیشگرمکن هوا	%	0.93	1.8
۶	دمای گاز خروجی قبل از پیشگرمکن هوا	°C	350	350
۷	دمای گاز خروجی بعد از پیشگرمکن هوا	°C	145	145
۸	دبی آب جبرانی (Make up)	kg/hr	-	25,720
۹	فشار Flash Tank	bar	9	9
۱۰	دمای قبل از دی سوپرهتچر	°C	350-400 420-470	400/470
۱۱	دبی آب اسپری	kg/hr	12,000	12,000
۱۲	بازده توربین اصلی (HP)	%	85-90	87.5
۱۳	بازده بویلر	%	95	88
۱۴	فشار بخار اصلی بعد از اولین باکت	kg/cm².abs.	140	140
۱۵	وکیوم کندانسور	kg/cm².abs.	0.194	0.194
۱۶	اختلاف دمای هیتراهای پرفشار	°C	36.2 39.5	36 36
۱۷	دبی سوخت مصرفی	ton/h	60	56.56