

# سیستم خنک کن مدیای متحرک بیرونی و تاثیر آن بر عملکرد بلوک سیکل ترکیبی

پرهام صائن، حمید ابراهیم پور، کیومرث آقایی، حسین عباسی

## چکیده

توربین های گاز، ماشین هایی هستند که با افزایش دمای هوای محیط، دچار افت توان شدید می شوند و با خنک سازی هوای ورودی می توان بخش عمده ای از توان از دست رفته را بازیابی کرد. در نیروگاه های سیکل ترکیبی، استفاده از سیستم خنک کن هوای ورودی باعث می شود که بدلیل تغییر دبی و دمای دود خروجی از توربین، عملکرد بخش بخار سیکل ترکیبی نیز دستخوش تغییراتی شود. در این تحقیق، به بررسی تاثیر سیستم خنک کن مدیای متحرک بیرونی نصب شده بر روی دو واحد گازی V94.2 نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند بر توان و راندمان بلوک سیکل ترکیبی و بخش های مختلف بویلر بازیاب پرداخته شده است. در این راستا عملکرد بلوک سیکل ترکیبی در سه حالت کاری مورد آزمون قرار گرفته است. حالت اول، سیستم خنک کن و داکت برنر خاموش. حالت دوم سیستم خنک کن روشن و داکت برنر خاموش. حالت سوم، سیستم خنک کن و داکت برنر روشن. نتیجه بررسی ها حاکی از آن است که استفاده از سیستم خنک کن هوای ورودی به توربین های گاز علاوه بر افزایش توان و راندمان واحد های گازی، باعث افزایش توان توربین بخار و راندمان بلوک سیکل ترکیبی نیز می شود. در صورت استفاده از داکت برنر توام با سیستم خنک کن هوای ورودی، مقدار توان تولیدی توربین بخار افزایش خواهد یافت، اما راندمان بلوک سیکل ترکیبی دچار کاهش خواهد شد. همچنین احتمال بروز خوردگی اسیدی در اثر تقطیر رطوبت دود روی سطوح حرارتی پیش گرمکن مورد بررسی قرار گرفته است.

## واژه های کلیدی:

توربین گاز - سرمایه های هوای ورودی - سیکل ترکیبی

## مقدمه

توربین های گاز ماشین هایی هستند که توان و راندمان آنها نسبت به دمای هوای محیط بسیار تاثیر پذیر می باشد، بدین معنا که با افزایش دمای هوای محیط (دمای هوای ورودی به کمپرسور) توان تولیدی و راندمان دچار کاهش می شود. علت

چنین رفتاری آن است که کمپرسور برای متراکم کردن هوای گرم تر توان بیشتری مصرف می کند، بنابراین سهم بیشتری از توان تولیدی توربین را به خود اختصاص داده و نتیجتاً توان باقیمانده که صرف گرداندن ژنراتور می شود کاهش می یابد. معمولاً به ازای هر یک درجه سانتیگراد افزایش در دمای محیط، توان خروجی توربین مابین ۰/۵ تا ۰/۹ درصد کاهش می یابد [۲،۱].

خنک سازی هوای ورودی به توربین های گاز، یک روش اثبات شده جهت بازیابی توان از دست رفته می باشد که روی بسیاری از توربین های گاز در نقاط مختلف جهان نصب شده است. انواع روش های خنک سازی هوای ورودی به توربین های گاز، توسط ابراهیم و همکارانش [۳] مورد بررسی قرار گرفته است.

بطور کلی روش های خنک سازی هوای ورودی به توربین های گاز را می توان به پنج گروه کولر تبخیری، سرمایه های تراکمی مستقیم، سرمایه های تراکمی غیر مستقیم، سرمایه های تراکمی با ذخیره سازی سرما و سیستم سرمایه های جذبی تقسیم بندی کرد [۴].

حسینی و همکاران [۵] عملکرد سیستم خنک کن مدیا نصب شده روی واحد های سیکل ترکیبی نیروگاه فارس را مورد مدلسازی و بررسی قرار داده اند. در مدل ارائه شده، پارامترهای مختلف طراحی از قبیل سرعت هوای ورودی، فرم هندسی و ابعاد و عمق پدهای مدیا مد نظر قرار گرفته اند.

کلپ و همکاران [۶]، اثرات انواع سیستم های سرمایه و سوپرشارژینگ هوای ورودی را بر روی یک توربین گاز ۴۰ مگاواتی مورد بررسی قرار داده اند. نتیجه بررسی های آنها حاکی از آن است که کاهش دادن دمای هوای ورودی به میزان 28 °C، توان تولید را به میزان ۳۰٪ افزایش می دهد.

در نیروگاه های سیکل ترکیبی، دود خروجی از توربین های گاز وارد بویلر های بازیاب شده و جهت تولید بخار مورد استفاده قرار می گیرد. بخار تولیدی می تواند صرف تولید برق در توربین بخار و یا کاربرد های گرمایشی یا فرایندی شود. با توجه به اینکه

$$\varepsilon = \frac{T_{in} - T_{out}}{T_{in} - T_{wb}} \quad (3)$$

در معادله فوق  $T_{in}$ ،  $T_{out}$  و  $T_{wb}$  به ترتیب دمای هوای ورودی و خروجی سیستم مدیا و دمای مرطوب هوای محیط می باشند.

### اثرات سرمایه‌ش هوای ورودی بر عملکرد بویلر بازیاب

بویلر بازیاب نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند از نوع دو فشاره و مجهز به داکت برنر می باشد. محل نصب داکت برنر بالادست سوپرهیتر HP می باشد. شرایط بخار HP و LP در ورود به توربین بخار مطابق جدول (۱) می باشد:

جدول ۱: فشار و دمای ورودی به توربین بخار در نقطه طراحی

نوع بخار	فشار (bar)	دما (°C)	دبی (kg/s)
HP	90	520	134
LP	8.5	230	18

حدود ۹۷٪ از توان تولیدی توربین بخار، بوسیله بخار HP و ۳ درصد باقیمانده بوسیله بخار LP تولید می شود.

در جدول (۲) مقدار پارامترهای کلیدی مسیر دود بویلر واحد ۱ در سه حالت کاری قابل مشاهده می باشد. لازم به ذکر است که مقادیر ثبت شده برای پارامترهای کلیدی بویلر واحد ۲ از مشابهت زیادی با واحد ۱ برخوردار بوده و جهت رعایت اختصار از ذکر آنها خودداری می شود. در جدول ۳ نیز پارامترهای کلیدی مسیر آب و بخار بویلر واحد ۱ مشاهده می شود.

جدول ۲: پارامترهای کلیدی مسیر دود بویلر واحد ۱

پارامتر	یکا	مقدار		
		۱	۲	۳
دمای دود ورودی	°C	549.0	536.1	544.9
دمای دود بعد از داکت برنر	°C	547.8	536.0	574.8
دمای دود ورودی به اواپراتور HP	°C	469.2	462.9	465.9
دمای دود ورودی به اکتونومایزر مرحله ۲ HP	°C	304.2	304.3	305.2
دمای دود ورودی به سوپرهیتر LP	°C	238.8	242.2	240.1
دمای دود ورودی به هوازا	°C	176.8	180.9	179.8
دمای دود خروجی از استک	°C	129.4	133.8	132.3

لازم به ذکر است که در حالت سوم بهره برداری (فعال بودن مدیا و داکت برنر) بدلیل برخی نواقص فنی، امکان بهره برداری از واحد با حداکثر ظرفیت داکت برنر میسر نشد و اطلاعات موجود در ستون سوم جداول ۱ و ۲ مربوط به عملکرد داکت برنر با بخشی از ظرفیت نامی خود می باشد.

دمای هوای ورودی به کمپرسور توربین گاز بر روی دبی و دمای دود خروجی از توربین تاثیر گذار است، سیستم خنک کن هوای ورودی، علاوه بر اثر مستقیمی که بر روی توربین گاز دارد، بصورت غیر مستقیم بر عملکرد بویلر و میزان بخار تولیدی نیز تاثیر گذار خواهد بود که نتیجه نهایی آن افزایش توان تولیدی بخش بخار سیکل خواهد بود.

براکاوا و همکاران [۷]، اثرات سیستم خنک کن مه پاش بر روی چند نوع توربین گاز بلوک سیکل ترکیبی را مورد مطالعه قراردادند. ذبیحیان و شریفی [۸] اثرات سیستم خنک هوای ورودی بر بویلر بازیاب تک فشاره را مورد بررسی و مدلسازی قرار داده اند. نتایج تحقیق آنها حاکی از آن است که سیستم خنک کن هوای ورودی میزان تولید بخار بویلر را افزایش خواهد داد.

حیدری و صائن [۹] اثرات سیستم خنک کن تبخیری مدیا بر دفع حرارت و عملکرد سیستم خنک کن یک نیروگاه سیکل ترکیبی را شبیه سازی و بررسی نموده اند.

در این مقاله تاثیر سیستم خنک کن مدیای متحرک نصب شده روی واحد های گازی ۱ و ۲ نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند بر بخش های مختلف بویلر بازیاب و عملکرد بلوک سیکل ترکیبی مورد بررسی قرار گرفته است.

برای این منظور تست عملکرد در سه حالت کاری ذیل بر روی بلوک سیکل ترکیبی صورت گرفته است.

- ۱- سیستم مدیا خاموش - داکت برنر خاموش
- ۲- سیستم مدیا روشن - داکت برنر خاموش
- ۳- سیستم مدیا روشن - داکت برنر روشن

### اثرات سرمایه‌ش هوای ورودی بر عملکرد توربین گاز

راندمان یک توربین گاز تابعی از دمای هوای ورودی به کمپرسور ( $T_1$ )، دمای هوای ورودی به توربین ( $T_3$ )، نسبت فشار و راندمان توربین و کمپرسور می باشد:

$$\eta_{GT} = \frac{\eta_t T_3 - T_1}{T_3 - T_1 - \frac{T_1}{\beta - 1} \left( \frac{\beta}{\eta_c} - 1 \right)} \quad (1)$$

در معادله فوق:

$$\beta = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (2)$$

سیستم خنک کن هوای ورودی باعث می شود که دمای هوای ورودی کاهش و نسبت فشار کمپرسور افزایش یابد. برآیند اثرات فوق افزایش راندمان توربین گاز می باشد.

کاهش دمای ناشی از سیستم خنک تبخیری تابعی از راندمان خنک کنندگی سیستم می باشد که عبارت است از:

جدول ۳: پارامترهای کلیدی مسیر آب و بخار بویلر واحد ۱

پارامتر	یکا	مقدار		
		۱	۲	۳
دمای بخار خروجی از سوپرهیتر HP	°C	510.3	501.3	512.4
فشار بخار خروجی از سوپرهیتر HP	barg	75.4	75.4	76.2
دبی بخار خروجی از سوپرهیتر HP	kg/s	53.4	54.7	57.4
دمای بخار ورودی به دی سوپرهیتر HP	°C	432.5	426.5	431.4
دمای درام HP	°C	290.8	290.9	291.8
فشار درام HP	barg	77.5	77.6	78.7
دمای خروجی اکونومایزر دوم HP	°C	292.7	293.9	293.4
دمای ورودی اکونومایزر اول HP	°C	156.2	161.8	160.1
دبی آب ورودی به اکونومایزر اول HP	kg/s	55.5	56.6	59.7
دمای بخار خروجی از سوپرهیتر LP	°C	232.0	234.0	232.9
دبی آب تغذیه LP	kg/s	9.9	10.9	10.6
دمای آب ورودی به هوازدا	°C	137.5	141.1	138.7
دبی آب ورودی به هوازدا	kg/s	61.6	63.9	66.8
خلا کندانسور	mbara	160.3	165.3	180.8
دمای اشباع کندانسور	°C	55.4	56.0	57.9
دمای آب برگشت	°C	54.8	55.1	56.1
دمای سطح فلز پیش گرمکن	°C	94	94.9	95.6

### سوپرهیتر HP

با به مدار آمدن سیستم مدیا، دمای بخار خروجی از سوپرهیتر HP از  $510.3^{\circ}\text{C}$  به  $501.3^{\circ}\text{C}$  کاهش می یابد. اما فشار بخار خروجی روی  $75.4\text{ barg}$  ثابت می ماند. بنابراین آنتالپی بر واحد جرم بخار خروجی از سوپرهیتر HP از مقدار  $3428.0\text{ kJ/kg}$  به  $3406.2\text{ kJ/kg}$  کاهش می یابد. اما دبی بخار HP از  $53.4\text{ kg/s}$  به  $54.7\text{ kg/s}$  افزایش می یابد. نتیجه آنکه در اثر فعال شدن سیستم مدیا، توان گرمایی موجود در بخار HP از  $183.1\text{ MW}$  به  $186.3\text{ MW}$  می رسد که معادل  $1.8\%$  افزایش می باشد. این بدان معناست که علیرغم کاهش دمای بخار خروجی از سوپرهیتر، بدلیل افزایش دبی بخار که ناشی از افزایش دبی دود خروجی از توربین گاز میباشد، محتوای حرارتی بخار خروجی از سوپرهیتر HP به اندازه  $3.2\text{ MW}$  افزایش می یابد.

با روشن شدن داکت برنر (همزمان با سیستم مدیا) دمای دود ورودی به سوپرهیتر HP که در اثر فعال شدن سیستم مدیا دچار کاهش شده بود، مجدداً افزایش یافته و تقریباً به میزان اولیه خود می رسد. از سوی دیگر دبی دود بدلیل فرآیند احتراق داکت برنر و افزایش فشار پشت توربین گاز به میزان کمی کاهش خواهد یافت. بنابراین بدیهی است که انرژی موجود در دود به میزان قابل توجهی افزایش می یابد که حاصل آن افزایش دما، فشار و دبی بخار خروجی از سوپرهیتر HP می باشد. حاصل آنکه آنتالپی بخار HP به  $3432.1\text{ kJ/kg}$  و توان گرمایی موجود در آن به  $197\text{ MW}$  می رسد که نسبت به

حالات بهره برداری ۱ و ۲ به ترتیب  $7/6$  و  $5/7$  درصد افزایش نشان می دهد.

### اوپراتور HP

با فعال شدن سیستم خنک کن مدیا، دمای دود ورودی به اوپراتور HP از  $469.2^{\circ}\text{C}$  با حدود هفت درجه کاهش دما به  $462.9^{\circ}\text{C}$  می رسد. اما دمای دود خروجی تقریباً روی میزان  $304.2^{\circ}\text{C}$  ثابت باقی می ماند. این بدان معناست که مقدار افت دمای دود در اوپراتور  $6.3^{\circ}\text{C}$  کاهش می یابد. از سوی دیگر فشار درام HP از  $77.53\text{ barg}$  به  $77.65\text{ barg}$  افزایش می یابد. از آنجا که فشار درام (و بالطبع دمای اشباع) تقریباً ثابت مانده است و دبی بخار تولیدی نیز دچار افزایش شده، می توان نتیجه گرفت که علیرغم کاهش اختلاف دمای دود، جذب گرما در اوپراتور افزایش یافته است که دلیل این امر افزایش دبی دود می باشد.

دمای پینچ عبارت است از اختلاف دمای دود خروجی از اوپراتور (ورودی به اکونومایزر مرحله دوم HP) و دمای اشباع اوپراتور. همانطور که در جدول ذیل مشاهده می شود، علیرغم افزایش ناچیز پارامترهای فوق الذکر در اثر فعال شدن سیستم مدیا و داکت برنر، دمای پینچ کاملاً ثابت باقی می ماند.

جدول ۴: پارامترهای مرتبط با دمای پینچ

پارامتر	یکا	مقدار		
		۱	۲	۳
دمای دود خروجی از اوپراتور	°C	304.2	304.3	305.2
دمای درام HP	°C	290.8	290.9	291.8
دمای پینچ	°C	13.4	13.4	13.4

### اکونومایزر HP

با فعال شدن سیستم مدیا، دمای دود ورودی به اکونومایزر HP تقریباً ثابت باقی می ماند. اما دمای دود خروجی از  $238.8^{\circ}\text{C}$  به  $242.2^{\circ}\text{C}$  افزایش می یابد.

نکته شایان توجه آن است که تا قبل از نقطه ورود دود به اکونومایزر HP، دمای دود در حالت فعال بودن سیستم مدیا کمتر از حالتی می باشد که سیستم مدیا غیر فعال باشد. اما در محل ورود به اکونومایزر HP (خروج از اوپراتور HP) دمای دود ثابت مانده و در نقاط پایین دست، افزایش می یابد. به عبارت دیگر خروجی اوپراتور HP نقطه عطف تغییرات دما در طول بویلر می باشد.

با روشن شدن داکت برنر دمای دود خروجی از اکونومایزر HP که در اثر فعال شدن سیستم مدیا افزایش یافته بود، مجدداً کاهش می یابد. بنابراین بدیهی است که با روشن شدن سیستم مدیا، منحنی دود بویلر حول نقطه پینچ به گونه ای دوران می کند که دمای دود نقاط بالادستی کاهش و نقاط پایینی دستی

افزایش یابد. اما اثر داکت برنر کاملاً برعکس حالت فوق می باشد.

### سوپرهیتر LP

با فعال شدن سیستم مدیا دمای دود ورودی به سوپرهیتر LP از  $238.8^{\circ}\text{C}$  به  $242.2^{\circ}\text{C}$  می رسد. بنابراین بر خلاف سوپرهیتر HP که با فعال شدن سیستم مدیا با افزایش دبی و کاهش دمای دود مواجه می شد، در ورودی سوپرهیتر LP دما و دبی دود، هر دو افزایش می یابند و در نتیجه دبی بخار LP از  $9.9\text{ kg/s}$  به  $10.9\text{ kg/s}$  افزایش می یابد. با روشن شدن داکت برنر دمای دود ورودی و دبی بخار خروجی به سوپرهیتر LP مجدداً کاهش یافته و به ترتیب به  $240.1^{\circ}\text{C}$  و  $10.6\text{ kg/s}$  می رسد.

### هوازدا

با فعال شدن سیستم مدیا، دمای دود ورودی به هوازدا از  $176.8^{\circ}\text{C}$  به  $180.9^{\circ}\text{C}$  افزایش می یابد. با توجه به افزایش یافتن همزمان دبی دود، نتیجه حاصله افزایش یافتن دمای آب خروجی از هوازدا از  $156.2^{\circ}\text{C}$  به  $161.8^{\circ}\text{C}$  و افزایش یافتن دبی از  $61.6\text{ kg/s}$  به  $63.9\text{ kg/s}$  می باشد. با روشن شدن داکت برنر دمای دود ورودی به هوازدا مجدداً کاهش یافته و به  $179.8^{\circ}\text{C}$  می رسد. دمای آب خروجی از هوازدا کاهش یافته و به  $160.1^{\circ}\text{C}$  می رسد. اما دبی آب خروجی کماکان به روند افزایشی خود ادامه داده و به  $66.8\text{ kg/s}$  می رسد. علت تبعیت نکردن دبی از روند دما آن است که دبی آب گذرنده از هوازدا تابع مقدار بخار تولیدی در اواپراتورهای LP و HP می باشد، و با توجه به روند افزایشی تولید بخار، دبی آب خروجی از هوازدا نیز مستقل از دمای خروجی افزایش می یابد.

### پیش گرمکن

همانطور که در جدول (۵) مشاهده می شود دمای دود ورودی، دود خروجی و آب خروجی با روشن شدن سیستم مدیا افزایش و با روشن شدن داکت برنر کاهش می یابند. اما دمای آب ورودی بصورت مداوم افزایش می یابد که علت آن محدودیت برج خنک کن در دفع حرارت به محیط و افزایش فشار کندانسور و دمای آب ورودی به بویلر می باشد.

جدول ۵: دما و دبی نقاط ورودی و خروجی پیش گرمکن

پارامتر	یکا	مقدار		
		۱	۲	۳
دمای دود ورودی	$^{\circ}\text{C}$	176.8	180.9	179.8
دمای دود خروجی	$^{\circ}\text{C}$	129.4	133.8	132.3
دمای آب ورودی	$^{\circ}\text{C}$	55.4	56.0	57.9
دمای آب خروجی	$^{\circ}\text{C}$	137.5	141.1	138.7
دبی آب خروجی	$^{\circ}\text{C}$	61.6	63.9	66.8
حرارت جذب شده در پیش گرمکن	MW	21.2	22.8	22.7

دبی آب پیش گرمکن نیز بصورت مداوم افزایش یافته است که علت آن افزایش تولید بخار در اواپراتورهای HP و LP و متعاقب آن افزایش دبی آب ورودی می باشد.

### محاسبه دبی دود

معمولاً برای محاسبه دبی دود خروجی از توربین گاز، از منحنی های تصحیح (correction curves) استفاده می شود. اما دبی دود خروجی از توربین را با استفاده از بالانس حرارتی پیش گرمکن نیز می توان محاسبه نمود. برای این منظور کالیبراسیون ظرفیت گرمایی دود بر اساس ترکیبات موجود در آن در میانگین دمای ورودی و خروجی پیش گرمکن محاسبه شده و دبی دود بر اساس بالانس حرارتی محاسبه شود.

$$C_p = \frac{\sum [m]_x [C_p]_x}{\sum [m]_x} \quad (4)$$

$$[\dot{m}.C.\Delta T]_{water} = [\dot{m}.C_p.\Delta T]_{smoke} \quad (5)$$

جدول ۶: تغییرات دبی دود خروجی از توربین گاز

پارامتر	یکا	مقدار		
		۱	۲	۳
دبی دود خروجی از توربین گاز	$^{\circ}\text{C}$	423.6	454.8	447.1

همانطور که در جدول فوق مشاهده می شود، سیستم خنک کن مدیا دبی دود خروجی از توربین گاز را افزایش می دهد. اما روشن شدن داکت برنر دبی دود را اندکی کاهش می دهد که علت آن افزایش فشار خروجی توربین گاز در اثر فرآیند احتراق داکت برنر می باشد.

### بررسی احتمال خوردگی اسیدی در پیش گرمکن

یکی از مهمترین مواردی که می بایست در زمان بهره برداری از واحد های سیکل ترکیبی به آن توجه شود، جلوگیری از بروز خوردگی اسیدی در پیش گرمکن می باشد. به همین منظور می بایست از کاهش یافتن دمای دود خروجی به زیر نقطه شبنم آب و اسید سولفوریک (در صورت وجود گوگرد در سوخت) جلوگیری شود.

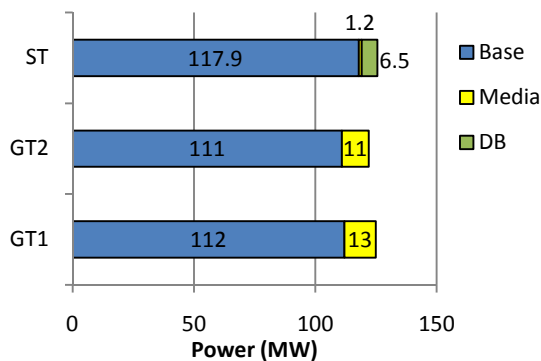
از آنجا که از سیستم مدیا در تنها در ماه های گرم سال بهره برداری می شود و در این ماه ها از گاز طبیعی (که فاقد گوگرد است) بعنوان سوخت واحد ها استفاده می شود، بحث خوردگی ناشی از اسید سولفوریک منتفی می باشد و نیازی به تخمین نقطه شبنم اسید سولفوریک نمی باشد.

اما به توجه به افزایش یافتن محتوای رطوبت دود، لازم است نقطه شبنم آب به دقت محاسبه شود. چرا که در صورت تقطیر

کندانسور شرایط اشباع حاکم است، با افزایش دمای آب خنک کن، فشار کندانسور نیز افزایش خواهد یافت.

### تاثیر سیستم مدیا بر توان و راندمان واحد های گازی و بلوک سیکل ترکیبی

همانطور که در شکل (۱) مشاهده می شود، به مدار آوردن سیستم مدیا باعث می شود که توان توربین های گاز واحد های ۱ و ۲ به ترتیب ۱۳ و ۱۱ مگاوات افزایش یابد و توربین بخار نیز ۱/۲ مگاوات افزایش توان خواهد داشت. هنگامی که همزمان با فعال بودن سیستم مدیا، داکت برنرها نیز با ظرفیت کمتر از میزان نامی روشن شوند، بنابراین واضح است که در اثر عملکرد سیستم مدیا، توان بلوک سیکل ترکیبی ۲۵/۲ مگاوات و در اثر عملکرد توام سیستم مدیا و داکت برنر ۳۱/۷ مگاوات افزایش خواهد یافت که به ترتیب برابر ۷/۴ و ۹/۳ درصد می باشد.



شکل ۱: تغییرات توان تولیدی توربین های گاز و توربین بخار

همانطور که در جدول (۸) مشاهده می شود سیستم مدیا باعث می شود که مصرف سوخت توربین های گاز افزایش پیدا کند. اما چون افزایش توان تولیدی بیش از سوخت مصرفی می باشد، راندمان توربین ها افزایش می یابد. عملکرد سیستم مدیا همچنین باعث می شود که راندمان بلوک سیکل ترکیبی اندازه 0.1% افزایش یابد. اما روشن شدن داکت برنر باعث می شود که بخشی از افزایش راندمان ناشی از عملکرد سیستم مدیا از دست برود.

جدول ۸: تغییرات مصرف گاز و راندمان

پارامتر	یکا	مقدار		
		۱	۲	۳
گاز مصرفی توربین گاز واحد ۱	kg/s	7.6	8.2	8.2
گاز مصرفی توربین گاز واحد ۲	kg/s	7.8	8.3	8.3
گاز مصرفی داکت برنرها	kg/s	0	0	0.3
راندمان توربین گاز واحد ۱	%	32.6	33.7	33.7
راندمان توربین گاز واحد ۲	%	31.5	32.2	32.2
افزایش راندمان توربین گاز واحد ۱	%	-	1.1	1.1
افزایش راندمان توربین گاز واحد ۲	%	-	0.7	0.7
راندمان بلوک سیکل ترکیبی	%	49.00	49.10	49.07
افزایش راندمان بلوک سیکل ترکیبی	%	-	0.10	0.07

آب روی سطوح سرد پیش گرمکن، طی واکنش با دی اکسید کربن موجود در محصولات احتراق، اسید کربنیک تشکیل شده و منجر به خوردگی خواهد شد.

در جدول ۷ ترکیب دود خروجی از داکت برنر قابل مشاهده می باشد. با توجه به اینکه محتوای رطوبت موجود در دود در حالت خاموش بودن و روشن بودن سیستم مدیا، به ترتیب 0.04254 kg/kg و 0.05070 kg/kg می باشد، با مراجعه به نمودار سایکرومتریک، دمای نقطه شبنم به ترتیب برابر با 35.15 °C و 38.17 °C بدست می آید. به عبارت دیگر در اثر افزایش میزان رطوبت موجود در هوا، دمای نقطه شبنم حدود سه درجه افزایش یافته است. سرد ترین نقطه در مسیر دود که احتمال تقطیر رطوبت و تشکیل اسید کربنیک و در نتیجه خوردگی فلز وجود دارد، سطوح حرارتی پیش گرمکن می باشد. بر اساس داده های موجود از تست عملکرد، دمای فلز پیش گرمکن در حالات خاموش و روشن بودن سیستم مدیا به ترتیب برابر با 93.98 °C و 94.94 °C می باشد که بسیار بالاتر از دمای نقطه شبنم بوده و ریسک خوردگی منتفی می باشد. این در حالی است که دمای آب برگشتی از کندانسور نیز به ترتیب 54.84 °C و 55.15 °C است و از آنجا که دمای فلز همواره مابین دمای دود و سیال داخل لوله است، حتی در نزدیکی هدر ورودی آب به پیش گرمکن نیز، خوردگی ناشی از تقطیر آب غیر ممکن است.

جدول ۷: ترکیبات موجود در دود خروجی (بعد از داکت برنر)

ترکیبات	درصد جرمی ترکیبات در دود (بعد از داکت برنر)		
	مدیا + داکت برنر	مدیا	عادی
O <sub>2</sub>	15.114	15.248	15.678
CO <sub>2</sub>	5.277	5.188	5.007
H <sub>2</sub> O	5.135	5.071	4.254
N <sub>2</sub>	73.195	73.235	73.802
Ar	1.257	1.258	1.268

### کندانسور

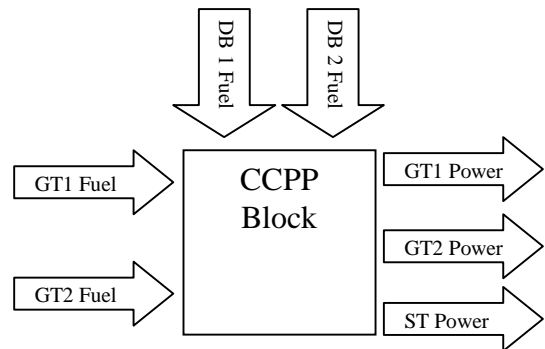
همانطور که در جدول (۱) مشاهده می شود، با فعال شدن سیستم مدیا فشار کندانسور از 160.3 mbar به 165.3 mbar می رسد. با روشن شدن داکت برنر فشار کندانسور باز هم افزایش یافته و به 180.8 mbar می رسد.

علت افزایش فشار کندانسور آن است که در اثر عملکرد سیستم مدیا و داکت برنر، تولید بخار و به تبع آن توان تولیدی توربین بخار افزایش می یابد و میزان حرارت دفع شده از سیکل نیز افزایش می یابد. با توجه به اینکه در هیچ یک از سه تست انجام شده از پیک کولرها استفاده نشده است، تنها مکانیزم موجود جهت افزایش انتقال حرارت، افزایش اختلاف دمای آب و هوا در برج هلمر می باشد و با توجه به ثابت بودن دمای هوای محیط، دمای آب خنک کن افزایش خواهد یافت. از آنجا که در

## بررسی علت کاهش راندمان ناشی از روشن شدن داکت برنر

در شکل (۲) دیاگرام ورود و خروج انرژی یک بلوک سیکل ترکیبی مشاهده می شود. ورود انرژی از طریق سوخت ورودی به توربین های گاز و داکت برنر ها تامین می شود و خروج انرژی از طریق ژنراتور توربین های گاز و توربین بخار می باشد. در صورت عدم وجود داکت برنر نیروگاه بصورت خالص در حالت سیکل ترکیبی فعال خواهد بود و راندمانی در حدود ۵۰٪ خواهد داشت. در صورتی که توربین های گاز حذف شوند و حرارت ورودی فقط از طریق داکت برنر ها تامین شود، سیکل ترکیبی تبدیل به سیکل رانکین خواهد شد و همانطور که می دانیم حداکثر راندمان قابل دستیابی توسط سیکل رانکین حدود ۴۰٪ می باشد.

با توجه به توضیحات فوق بدیهی است که در زمان استفاده از داکت برنر در نیروگاه سیکل ترکیبی، راندمان بلوک می بایست مابین دو میزان حدی ۴۰٪ و ۵۰٪ قرار گیرد.



شکل ۲: تغییرات توان تولیدی توربین های گاز و توربین بخار

### نتیجه گیری

در این تحقیق اثرات سیستم خنک کن مدیا بر عملکرد بلوک سیکل ترکیبی و اجزای مختلف بویلر بازیاب مورد بررسی قرار گرفت. مهمترین نتایج حاصله عبارتند از:

- سیستم مدیا باعث می شود علاوه بر افزایش توان و راندمان توربین های گاز، توان توربین بخار و راندمان بلوک سیکل ترکیبی نیز افزایش یابد.
- داکت برنر باعث افزایش توان توربین بخار می شود. اما راندمان بلوک سیکل ترکیبی را کاهش می دهد.
- سیستم مدیا باعث می شود که دمای دود خروجی از توربین گاز کاهش و میزان دبی دود افزایش یابد. برآیند اثرات فوق مثبت بوده و منجر به افزایش انرژی قابل استحصال از دود خروجی می شود و با افزایش تولید بخار منجر به افزایش توان توربین بخار می شود.

- سیستم مدیا باعث می شود که اختلاف دمای میان دود و بخار در نقاطی از بویلر که در بالادست نقطه خروجی اواپراتور HP قراردارند کاهش یابد و در نقاط پایین دستی افزایش یابد.
- اختلاف دمای پینچ اواپراتور HP از عملکرد سیستم مدیا تاثیر نمی پذیرد.
- دبی دود توربین گاز با فعال شدن سیستم مدیا به میزان قابل توجهی افزایش و با روشن شدن داکت برنر اندکی کاهش می یابد که علت آن افزایش فشار پشت توربین گاز در اثر احتراق داکت برنر می باشد.
- با فعال شدن سیستم مدیا، میزان بخار آب موجود در دود افزایش می یابد. اما دمای آب ورودی به پیش گرمکن و دمای فلز آن بسیار بالاتر از دمای نقطه شبنم بخار آب موجود در دود می باشد، بنابراین خوردگی اسیدی پیش گرمکن نامحتمل می باشد.
- سیستم مدیا و داکت برنر، مقدار گرمای دفع شده از سیکل و بار کندانسور را افزایش می دهند که نتیجه آن بالا رفتن فشار کندانسور در حالت عدم استفاده از پیک کولر میباشد.

### مراجع

- [1] Bhargava, R. and Meher-homji, C.B., Parametric Analysis of Existing Gas Turbines with Inlet Evaporative and Overspray Fogging, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, vol. 127, 14 pages, 2005.
- [2] Meher-Homji, C.B. and Mee, T.R., Gas Turbine Power Augmentation by Fogging of Inlet Air, Proc. of 28<sup>th</sup> Turbo machinery symposium, Houston, TX, USA, September 1999.
- [3] Ibrahim, T.K., Rahman M.M. and Abdalla, A.N., Improvement of gas turbine performance based on inlet air cooling systems: A technical review, International Journal of Physical Sciences, vol. 6, pp. 620-627, 2011.
- [4] Kamal, N.A. and Zuhai, A.M., Enhancing gas turbine output through inlet air cooling, Sudan Engineering Society Journal, vol. 52, pp.7-14, 2006.
- [5] Hosseini, R., Beshkani, A. and Soltani, M., Performance improvement of gas turbines of Fars (Iran) combined cycle power plant by intake air cooling using a media evaporative cooler, Energy Conversion and Management, vol.48, pp. 1055-1064, 2007.
- [6] Kolp, D.A., Flye, W.M. and Guidotti, H.A., Advantages of Air Conditioning and Supercharging an LM6000 Gas Turbine Inlet, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, vol. 117, pp. 513-527, 1995.
- [7] Bhargava, R., Bianchi, M., Melino, F. and peretto, A., Parametric Analysis of Combined Cycle Equipped with Inlet Fogging, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, vol. 128, 10 pages, 2006
- [8] ذبیحیان، ف، شریفی، ح، بررسی اثرات سرمایش هوای ورودی به توربین گاز بر عملکرد بویلر بازیاب، هجدهمین کنفرانس بین المللی برق - تهران - ایران
- [9] Heidary, H., Saen, P., The effect of GT Inlet Air Cooling on Selection of Optimum Size of Heller Cooling Tower in Yazd Combined Cycle Power Plant., Power-Gen Asia conference 2011 - Kuala Lumpur - Malaysia.

## بررسی فنی-اقتصادی سامانه های خنک کاری

شرکت رهاورد انرژی با افتخار اعلام می نماید که با تکیه بر توان داخلی و نیز پشتیبانی همکاران خارجی خود، توانایی طراحی، نصب و راه اندازی انواع مختلف سیستم های خنک کن تبخیری و چیلری را دارا می باشد.

از این رو شرکت رهاورد انرژی به پشتوانه تجربه و دانش متخصصین خود، آمادگی خود را جهت بررسی فنی اقتصادی طرح های خنک سازی هوای ورودی توربین های گازی جهت افزایش ظرفیت در فصل گرم برای سایت های مختلف نیروگاهی در سطح کشور اعلام می دارد.

بررسی های انجام شده توسط کارشناسان این شرکت شامل بخش های زیر خواهد بود:

- بررسی بهترین نوع سیستم خنک کن مطابق مشخصات سایت، شرایط محیطی، مشخصات توربین گاز...
- محاسبه افزایش توان، راندمان، مصرف آب و گاز،....
- برآورد هزینه سرمایه گذاری اولیه
- برآورد در آمد ناخالص سیستم خنک کن
- برآورد هزینه های عملیاتی سیستم خنک کن
- برآورد هزینه تعمیرات و نگهداری
- محاسبه در آمد خالص سالانه
- محاسبه دوره بازگشت سرمایه

لطفا درخواست خود را از طریق ایمیل [info@rahavard-energy.com](mailto:info@rahavard-energy.com) و یا شماره تلفن ۰۲۱)۴۶۰۱۰۶۸۹ با کارشناسان ما در میان بگذارید.

