

بررسی صحت طراحی و کارآیی برج خنک کن نیروگاه شهید محمد منتظری

مصطفی قلم چی

مشانیر - معاونت مهندسی بهره برداری و طرحهای بهینه سازی

ایران

واژه های کلیدی: طراحی، کارآیی، برج خنک کن و نیروگاه

چکیده:

یابد. با توجه به محدودیت تولید فاز یک نیروگاه شهید محمد منتظری در فصل تابستان، شرکت برق منطقه ای اصفهان، افزایش کارآیی برج خنک کن فاز یک این نیروگاه را بعنوان یک هدف، به شرکت مشانیر ارجاع داده است. با توجه به این که، برجهای خنک کن فاز یک نیروگاه شهید محمد منتظری طراحی و نصب گردیده اند، لذا در این مقاله، با توجه به داده های برجهای مذکور، صحت طراحی و کارآیی برج خنک واحدهای فاز یک این نیروگاه را بهنگام راه اندازی بررسی خواهیم کرد.

مقاله حاضر، با استفاده از فرمولها و قوانین تجربی جدید شرکت EGI (Ver. 1994) که یکی از بزرگترین شرکتهای سازنده برج خنک کن میباشد، به منظور بازنگری و بررسی صحت طراحی برجهای خنک کن فاز یک نیروگاه شهید محمد منتظری تنظیم شده است، و در ادامه با محاسبه کارآیی واحدها پس از نصب و اجرا به بررسی عملکرد آن پس از راه اندازی واحدها میپردازد.

شرح مقاله:

محاسبات طراحی، که در واقع محاسبات ترمودینامیکی و آیرودینامیکی برج خنک کن که با پیک کولر بصورت خشک (بدون آب اسپری) در بار نامی واحد (200 MW) مورد بهره برداری قرار می گیرد را شامل می شود.

نیروگاه شهید محمد منتظری، واقع در شهر اصفهان، دارای دو فاز چهار واحدی با توان تولیدی $8 \times 200 MW$ میباشد. چهار واحد فاز اول نیروگاه به ترتیب در سالهای ۱۳۶۳، ۱۳۶۴ و ۱۳۶۸ و چهار واحد فاز دوم به ترتیب در سالهای ۱۳۷۷ و ۱۳۷۸ راه اندازی و با شبکه سراسری پارالل شده است. با توجه به اینکه سیستم خنک کن این نیروگاه از نوع خشک غیرمستقیم (هالر) میباشد، در نتیجه قدرت تولیدی آن در اثر افزایش سرعت باد و نیز دمای محیط کاهش می

#

۱- محاسبات ترمودینامیکی و آیرودینامیکی برج خنک کن

محاسبات ترمودینامیکی و آیرودینامیکی برج خنک کن خشک (هالر) که با قوانین و فرمولهای شرکت EGI انجام پذیرفته، بصورت برنامه رایانه ای، انجام پذیرفت.

طبق یکی از منحنی های دانش فنی در اختیار شرکت مشانیر (با توجه به اینکه محاسبات طراحی انجام شده در این مبحث برای در دمای 30°C صورت گرفته است) طبق نمودارهای ارائه شده برابر با 257 Gcal/hr می باشد.

(2) مقدار گرمای دفع شده از پیک کولرها : $Q_{o,pc}$

طبق جداول ارائه شده و با توجه به دبی هوای عبوری از پیک کولرها و اندازه قطر پروانه فن ها و نیز مبدل های حرارتی و ... ، مقدار گرمای دفع شده از پیک کولرها، برابر با $3.633 \times 10^5\text{ kcal/hr}$ می باشد.

(3) ITD

طبق یکی دیگر از منحنی دانش فنی در اختیار شرکت مشانیر در دمای طراحی 30°C ، ITD برابر با $31/7^{\circ}\text{C}$ می باشد.

با استفاده از داده ها و ورودیهای مذکور، محاسبات مربوطه را طبق فلوجارت خاصی دنبال می کنیم و با توجه به اینکه دانش فنی طراحی برج خنک کن و دفترچه محاسبات قابل ارائه در مقاله حاضر نمی باشد، فقط خروجیها و **Out put** این برنامه محاسباتی به صورت زیر ارائه می شود:

اختلاف درجه حرارت آب خنک کن ورودی و خروجی
برج بر اساس طراحی: $\Delta t_{\text{design}} = 10.28^{\circ}\text{C}$

اختلاف درجه حرارت آب خنک کن ورودی و خروجی
برج بر اساس محاسبات: $\Delta t_{\text{calaulated}} = 10.49^{\circ}\text{C}$

اختلاف درجه حرارت آب خنک کن ورودی به برج با
دمای محیط: $\text{ITD} = 31.59^{\circ}\text{C}$

ارتفاع محاسبه شده برج خنک کن:

$$H_{\text{calculated}} = 118.2\text{ m}$$

ارتفاع طراحی برج خنک کن:

$$H_{\text{design}} = 120\text{ m}$$

ضریب کارایی مبدل های حرارتی دلتاهای خنک کن:

$$\phi_d = 0.7418$$

ضریب کارایی مبدل های حرارتی پیک کولرهای خنک کن:

$$\phi_{pc} = 0.8807$$

پارامترها و معیارهای طراحی اولیه بر اساس داده های برجهای خنک کن خشک نیروگاه شهید محمد منتظری اصفهان، بعنوان ورودیهای این محاسبات تلقی شده و بر اساس آنها، محاسبات مذکور انجام میپذیرد.

پارامترهای ورودی این محاسبات به شرح زیر میباشد:

#

H : ارتفاع برجهای خنک کن: 120 m

D_2 : قطر دهانه برج: 62 m

N_d : عدد دلتاها: 119

H_d : ارتفاع دلتاها: 15 m

I_d : عدد ۲ = تعداد مسیرها در هر مبدل حرارتی

M_d : عدد ۶ = تعداد ردیف لوله ها در هر مبدل حرارتی

درجه 60 = زاویه بین دلتاها: α_d

عدد 30 = تعداد پیک کولرها: $N_{p.c}$

$H_{p.c}$: ارتفاع پیک کولرها: 15 m

عدد 2 = تعداد مسیرها در هر مبدل پیک کولرها: $I_{p.c}$

عدد 6 = تعداد ردیف لوله ها در هر مبدل پیک کولرها: $M_{p.c}$

70 = زاویه پیک کولرها با افق: $\alpha_{p.c}$

عدد 60 = تعداد فن های پیک کولرها: N_f

G : دبی آب خنک کن برج خنک کن: $25000\text{ m}^3/\text{hr}$

$G_{p.c}$: دبی آب خنک کن در پیک کولرها: $920\text{ m}^3/\text{hr}$

$G_{d.c}$: دبی آب خنک کن در دلتاها: $24080\text{ m}^3/\text{hr}$

$L_{1,PC}$: دبی هوای عبوری از پیک کولر: 2 ton/hrm^2

S : تفاع منطقه احداث نیروگاه از سطح دریا: 1660 m

$L_{1,d}$: دبی هوای عبوری از دلتا: $5/764\text{ ton/hrm}^2$

همچنین اطلاعات دیگری که بعنوان ورودیهای محاسبات

فوق الذکر مورد استفاده قرار میگیرند، پارامترهایی هستند که

از نمودارها و جداول طراحی که توسط شرکت سازنده ارائه

شده اند.

این پارامترها عبارتند از:

#

(1) مقدار گرمای دفع شده از برج خنک کن: Q

مقدار گرمای دفع شده از برج خنک کن از منحنی های

شرکت سازنده بر اساس نوع و اندازه و ... آنها ارائه میشود که

۳- تعیین کارایی برج خنک کن فاز ۱ نیروگاه

جهت حصول اطمینان از صحت عملکرد برجهای خنک کن فاز یک نیروگاه شهید محمد منتظری، در این بخش کارایی این برج ها مورد بررسی قرار می گیرد. با اندازه گیری دمای آب در مقاطع ورودی و خروجی هر برج، $T_{W in}$ و $T_{W out}$ ، و نیز با قرائت دبی پمپ گردش آب خنک کن G_W ، می توان مقدار حرارتی که از برج خنک کن دفع می شود را با استفاده از معادله زیر به دست آورد.

$$\# Q = G_W (T_{W in} - T_{W out})$$

بر اساس طراحی شرکت سازنده برج، انتظار می رود که دمای آب در کندانسور مساوی مقدار معینی باشد که آن را با T_C نشان می دهیم.

T_S درجه حرارت آب اشباع در کندانسور نیز یا به صورت مستقیم (از طریق اندازه گیری) و یا به طور غیر مستقیم (با اندازه گیری مقادیر فشار هوا و خلاء کندانسور و با استفاده از جداول ترمودینامیکی بخار اشباع) قابل محاسبه است.

در صورتی که $T_S < T_C$ باشد به آن معنی است که دمای آب در کندانسور کمتر از مقدار مورد انتظار است در نتیجه حرارت دفع شده توسط برج (Q) بیشتر از مقداری است که شرکت سازنده تضمین کرده است. در این حالت برج از کارایی مناسبی برخوردار است. در غیر این صورت برج نتوانسته است دمای آب در کندانسور (T_S) را به اندازه کافی کاهش دهد. بنابراین به طور خلاصه می توان گفت که شرط مناسب بودن کارایی برج برقراری شرط زیر است:

$$T_S - T_C < 0$$

روش تعیین کارایی برج به طور خلاصه در نمودار (۱) ارائه شده است.

#

۳-۱- روش تعیین دمای کندانسور T_C

با محاسبه Q و با استفاده از نمودار ارائه شده از طرف شرکت سازنده، جهت تعیین درجه حرارت کندانسور می توان درجه حرارت تضمین شده کندانسور را به دست آورد. در این منحنی محور افقی مقدار حرارتی است که توسط برج دفع

با توجه به نتایج فوق، کاهش درجه حرارت آب در برج خنک کن (Δt برج) با اطلاعات شرکت سازنده برج ۱۰/۲۸ می باشد که طبق محاسبات انجام گرفته، این عدد ۱۰/۴۹ درجه سانتیگراد می باشد و نیز ارتفاع محاسبه شده برج خنک کن که از محاسبات اختلاف دانسیته هوا در طول برج بوجود آمده است، ۱۱۸/۵ متر میباشد که طبق اطلاعات شرکت سازنده، ۱۲۰ متر است.

نتایج فوق نشان دهنده اختلاف جزئی (کمتر از دو درصد) این محاسبات با داده های طراحی سازنده می باشد.

۲- بررسی طراحی

طراحی برج خنک کن فاز یک نیروگاه شهید محمد منتظری به گونه ای بوده است که:

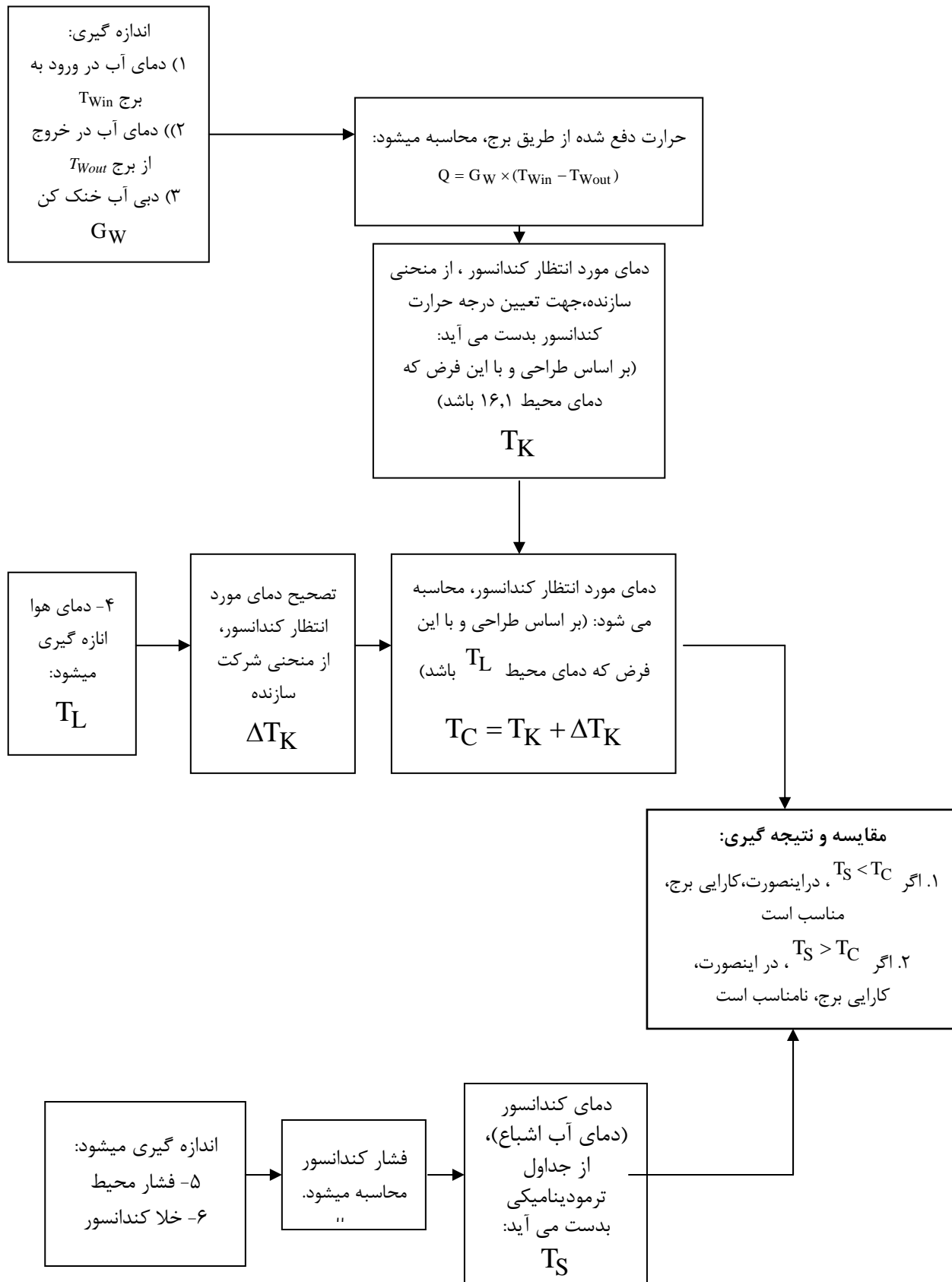
۱- برج خنک کن می توانسته است Δt لازم برج (اختلاف درجه حرارت آب خنک کن ورودی و خروجی از برج خنک کن) را در شرایط طراحی و بار نامی واحد، تامین نماید.

۲- در طراحی، با توجه به شرایط خواسته شده، بار حرارتی ($Heat Dissipate$) برج خنک کن در حد مطلوبی بوده و می توانسته انتظارات کارفرمای طرح ($\Delta t = 10^\circ C$) و

$$Q = 257 \text{ GCal/hr}$$

تمام ابعاد برج خنک کن (ساختمانی و ...) در دمای حداکثر محدوده طراحی، یعنی ۳۰ درجه سانتیگراد، جوابگوی نیازهای سیستم خنک کن می باشد.

لذا می توان نتیجه گیری نمود که طراحی برجهای خنک کن فاز یک نیروگاه شهید محمد منتظری اصفهان در دمای طراحی مناسب بوده و کارایی آن از منظر طراحی، با توجه به مندرجات پروتکل مبادله شده فیما بین کارفرمای طرح و پیمانکار تامین کننده تجهیزات، می توانسته است نتیجه مطلوبی داشته باشد. بنابراین در ادامه بحث به محاسبه و بازنگری کارایی برجهای خنک کن پس از راه اندازی آن می پردازیم، تا بتوانیم نتایج نهایی و مطمئن تری را در باب طراحی و همچنین کارکرد برج داشته باشیم.



نمودار (۱): روش تعیین کارایی برج

درجه سانتی گراد به دست می آید. در این شرایط شرکت سازنده برج تضمین کرده است که دمای کندانسور، مساوی و یا کمتر $44,2^{\circ}\text{C} = 1,8 - 46$ خواهد بود. بنابراین اگر دمای اندازه گیری شده آب اشباع در کندانسور کمتر از این مقدار باشد کارایی برج، مناسب و در غیر این صورت، نامناسب ارزیابی می گردد.

۳-۲- محاسبه کارایی برج خنک کن واحدهای فاز ۱

برای محاسبه کارایی برج منحنی های مورد ارائه شرکت سازنده، جهت تعیین درجه حرارت کندانسور و همچنین تصحیح درجه حرارت، به کامپیوتر داده شد و با تهیه یک برنامه، محاسبات مربوطه (تعیین T_C و T_S) توسط رایانه انجام گرفت.

جهت بررسی دقت برنامه، ابتدا میزان انطباق نتایج آن با مقادیری که در تاریخ ۱۶ و ۱۷ آوریل سال ۱۹۸۵ میلادی (۲۸ و ۲۹ فروردین ۱۳۶۴) ثبت گردیده است بررسی گردید. در جدول (۱) نتایج محاسبه شاخص کارایی برج ($T_S - T_C$) در ده ساعت مختلف در تاریخ ۲۹ فروردین و مقایسه آن با مقادیر ثبت شده ارائه شده است:

#

شده است. محور عمودی نیز بیانگر درجه حرارتی است که در صورت دفع این مقدار حرارت توسط برج، باید در کندانسور حاکم باشد. بنابراین از این نمودار می توان درجه حرارت تضمین شده کندانسور (توسط شرکت سازنده برج) را به دست آورد.

باید توجه داشت که این منحنی در شرایطی صادق است که دمای محیط $16,1$ درجه سانتی گراد باشد. در صورتی که دمای محیط با مقدار فوق متفاوت باشد باید با استفاده از منحنی مورد ارائه سازنده، جهت تصحیح دمای کندانسور، تصحیح گردد.

به عنوان مثال، اگر دمای محیط $16,1$ و مقدار Q مساوی $237 \times 10^6 \text{ Kcal/h}$ به دست آمده باشند شرکت سازنده برج تضمین کرده است که دمای آب اشباع در کندانسور بیشتر از 46 درجه سانتی گراد نخواهد شد. اگر فرض کنیم که دمای محیط به جای $16,1$ معادل 14 درجه باشد، در این صورت ممکن است دمای مناسبی که در کندانسور حاکم است نه به دلیل کارایی برج، بلکه به علت خنک بودن هوای محیط باشد. در این حالت با استفاده از منحنی شرکت سازنده، مقدار تصحیحی که لازم است در دمای تضمین شده کندانسور اعمال شود حدوداً مساوی $1,8$

اختلاف (درجه سانتی گراد)	$T_S - T_C$ (برنامه کامپیوتری)	$T_S - T_C$ (ثبت شده)	دمای محیط (درجه سانتی گراد)	ساعت
۰,۲۲	-۲,۲	-۱,۹۸	۱۳,۰۹	۷
۰,۰۴	-۱,۳۸	-۱,۳۴	۱۳,۳۷	۸
۰,۰۴	-۲,۰۶	-۲,۰۲	۱۳,۵۶	۹
۰,۰۳	-۱,۳۳	-۱,۳۰	۱۳,۸۴	۱۰
۰,۱۲	-۱,۸۸	-۱,۷۶	۱۴,۷۹	۱۳
۰,۴۵	-۱,۸۸	-۱,۴۳	۱۵,۴	۱۴
۰,۱۳	-۲,۱۴	-۲,۰۱	۱۵,۴۵	۱۵
۰,۰۳	-۱,۸۳	-۱,۸۰	۱۷,۱۹	۲۱
۰,۰۰۵	-۰,۹۱۵	-۰,۹۱	۱۷,۳۹	۲۲
۰,۰۵	-۱,۳۵	-۱,۳۰	۱۷,۲۷	۲۳

جدول (۱): نتایج محاسبه شاخص کارایی برج در ۲۹ فروردین و مقایسه آن با مقادیر ثبت شده

است که به دلیل خطای قرائت اعداد از منحنی های فوق الذکر، این مقدار تفاوت کاملاً طبیعی است. با استفاده از لاگ شیت های موجود در نیروگاه، کارایی برج خنک کن واحد ۱ از تاریخ ۱۳۶۳/۱۰/۲۷ لغایت ۱۳۶۳/۱۲/۴ محاسبه و در جدول (۲) ارائه شده است:

همان طور که مشاهده می شود غیر از ساعت ۱۴ که مقدار $T_S - T_C$ که از طریق برنامه کامپیوتری به دست آمده است حدود نیم درجه با مقدار ثبت شده تفاوت دارد در بقیه موارد تفاوت مقدار محاسبه و ثبت شده بسیار ناچیز است. روشن

Ts - Tc	آبدهی پمپ آب گردشی	دمای هوا	دمای آب در خروج از برج	دمای آب در ورود به برج	دمای کندانسور	ساعت	تاریخ
+۸,۷۵	۲۷۵۰۰	۱۰	۳۸	۴۶	۴۸	۱۰	۱۰/۲۷
+۶	۲۷۵۰۰	۱۲	۲۹	۳۲,۵	۳۶	۱۴	
+۹,۸	۲۷۵۰۰	۱۲	۳۱	۳۴	۳۸	۱۶	
+۷,۸	۲۷۵۰۰	۲	۲۵	۳۱	۳۵	۱۰	۱۰/۲۸
+۵	۲۷۵۰۰	۸	۳۰	۳۷	۴۰	۱۴	
+۴,۳	۲۷۵۰۰	۶,۵	۳۰	۳۸	۴۰,۵	۱۶	
-۲,۸	۲۷۵۰۰	۷	۲۹	۳۹	۳۹	۱۰	۱۰/۲۹
+۲,۶	۲۷۵۰۰	۱۳	۳۷	۴۶	۴۷	۱۴	
-۳,۶	۲۷۵۰۰	۱۲	۳۴	۴۵	۴۵	۱۶	
-۲,۵	۲۶۵۰۰	۹	۳۰	۴۰	۴۰	۱۰	۱۱/۲۶
-۸	۲۶۵۰۰	۱۸	۳۵	۴۶	۴۵	۱۴	
-۷,۵	۲۶۵۰۰	۱۶	۳۶	۴۸	۴۶	۱۶	
-۳,۵	۲۷۰۰۰	۹	۳۱	۴۲	۴۲	۱۰	۱۱/۲۷
-۱,۹۵	۲۷۰۰۰	۶	۳۰	۴۲	۴۲	۱۴	
-۷	۲۷۰۰۰	۹	۳۰	۴۱	۴۱	۱۶	
+۵,۸	۲۷۰۰۰	۶	۳۰,۵	۳۸	۴۰	۱۰	۱۱/۲۹
-۰,۰۳	۲۷۰۰۰	۹	۳۳	۴۳	۴۳	۱۴	
+۴,۲	۲۷۰۰۰	۷	۳۴	۴۳	۴۳	۱۶	
+۷	۲۷۰۰۰	۶	۳۲	۳۹	۴۰	۱۰	۱۱/۳۰
-۳	۲۷۰۰۰	۱۳	۳۲	۴۱	۴۱	۱۴	
-۰,۵	۲۷۰۰۰	۱۱	۳۳	۴۲,۵	۴۳	۱۶	
-۱,۵	۲۷۰۰۰	۹	۲۹	۳۸	۳۹	۱۰	۱۲/۱
-۱۲	۲۷۰۰۰	۱۶	۳۹	۴۶	۴۷	۱۴	
-۰,۷	۲۷۰۰۰	۱۵	۳۶	۴۵	۴۵	۱۶	
+۶,۴	۲۷۰۰۰	۱۲	۳۸	۴۶	۴۷	۱۰	۱۲/۲
+۴,۳	۲۷۰۰۰	۱۵	۳۸	۴۵	۴۵	۱۴	
+۱,۵	۲۷۰۰۰	۱۳	۳۸	۴۸	۴۸	۱۶	
+۶,۶	۲۷۰۰۰	۲,۵	۳۱	۳۹	۳۹	۱۰	۱۲/۳
+۲,۳۶	۲۶۵۰۰	۹	۳۲	۴۰	۴۰	۱۴	
+۴,۵	۲۷۰۰۰	۹	۳۳	۴۰	۴۰	۱۶	
+۰,۵۶	۲۷۰۰۰	۶	۳۱	۴۱	۴۱	۱۰	۱۲/۴
+۲,۱	۲۷۰۰۰	۱۰	۳۳	۴۱	۴۱	۱۴	
-۰,۹	۲۷۰۰۰	۱۰	۳۳	۴۳	۴۳	۱۶	

جدول (۲): نتایج محاسبات کارایی برج خنک کن واحد یک

در جدول (۲) مشاهده می شود که:

شاخص کارایی در بعضی موارد مثبت (به مفهوم نامناسب بودن کارایی برج) و در برخی موارد منفی (مترادف با مناسب بودن کارایی برج) است.

مقدار $T_S - T_C$ بعضاً با مقادیر مورد انتظار (یک یا دو درجه سانتی گراد) بسیار متفاوت است. به عنوان مثال در تاریخ ۱ / ۱۲ / ۱۳۶۳ در ساعت ۱۴ مقدار $(T_S - T_C)$ مساوی (۱۲-) و در تاریخ ۲۷ / ۱۱ / ۶۳ (ساعت ۱۶) معادل (۷-) است.

کارایی برج در ساعت ۱۴ مورخ (۲۹ / ۱۰) نامناسب و در ساعات ۱۰ و ۱۶ همان روز، مناسب ارزیابی شده است^۳. چنین رفتاری منطقی نمی باشد.

برای قضاوت صحیح در مورد مناسب یا نامناسب بودن کارایی برج باید منابع خطا را شناخت و نسبت به حذف آن ها اقدام نمود. منابع خطا عبارتند از:

۳-۳- منابع خطاها

۳-۳-۱- خطا در ثبت و اندازه گیری دما و آبدهی پمپ

دقت در قرائت و اندازه گیری درجه حرارت بسیار مهم است. دقت اعداد ثبت شده در تست گارانتی واحد ۱، تا دو رقم بعد از اعشار است این نشان می دهد که کمترین خطا در اندازه گیری (ناشی از کالیبره نبودن دماسنج) یا عدم دقت در قرائت دما تا چه میزان می تواند در نتایج حاصله تأثیر گذار باشد. به عنوان مثال اگر فرض کنیم که در تاریخ ۲۹ / ۱۰ / ۶۳ (ساعت ۱۰) در تعیین مقادیر درجه حرارت فقط نیم درجه سانتی گراد خطا صورت پذیرفته است، قضاوت در مورد کارایی برج کاملاً تغییر خواهد کرد. یعنی اگر درجه حرارت هوا به جای ۷ درجه مساوی ۶٫۵ درجه و دمای آب در ورود و خروج از برج به جای ۳۹ و ۲۹ درجه سانتی گراد به ترتیب ۳۸٫۵ و ۲۹٫۵ درجه باشد و خطای قرائت آبدهی پمپ نیز در حدود دو درصد (یعنی به جای ۲۷۵۰۰ حدوداً ۲۷۰۰۰ تن در ساعت) باشد مقدار $(T_S - T_C)$ به جای ۲٫۸- مساوی ۰٫۷+ خواهد بود. به همین ترتیب اگر در ساعت ۱۴ همان روز نیز در قرائت مقادیر درجه حرارت فقط نیم درجه سانتی گراد خطا رخ داده باشد، یعنی دمای محیط و درجه حرارت

آب خنک کن در ورود و خروج از برج به ترتیب مساوی ۱۳٫۵ و ۴۶٫۵ و ۳۶٫۵ درجه سانتی گراد باشند، مقدار $(T_S - T_C)$ از (۲٫۶+) به (۰٫۴-) تغییر می کند. اگر مقدار آبدهی پمپ نیز با حدود چهار درصد خطا، به جای ۲۷۵۰۰ تن در ساعت مساوی ۲۶۵۰۰ (مشابه تاریخ ۲۶ / ۱۱) باشد، مقدار $(T_S - T_C)$ مجدداً از (۰٫۴-) به (۰٫۵+) تغییر می کند.

بنابراین با توجه به مطالب ذکر شده فوق مشاهده می شود که با خطایی در حدود نیم درجه سانتی گراد در اندازه گیری و یا قرائت دما و خطایی کمتر از پنج درصد در اندازه گیری قرائت آبدهی پمپ، قضاوت در مورد مناسب یا نامناسب بودن کارایی برج تغییر خواهد نمود.

خطای اندازه گیری و یا ثبت اعداد در بعضی موارد کاملاً محرز است، به عنوان مثال در تاریخ ۲۶ / ۱۱ / ۱۳۶۳ در ساعت های ۱۴ و ۱۶، دمای کندانسور یک و یا دو درجه کمتر از درجه حرارت آب ورودی به برج ثبت شده است. در حالی که دمای کندانسور کمی (معمولاً کمتر از نیم درجه) بیشتر از درجه حرارت آب ورودی به برج است. در بسیاری از موارد نیز این دو دما مساوی یکدیگر ثبت شده اند که خطایی در حدود نیم درجه را در ثبت حداقل یکی از دو دما محرز می کند. مثال دیگر مقداری است که به عنوان دمای آب ورودی به برج در ساعت ۱۶ روز ۲۸ / ۱۰ اندازه گیری و حدود ۲٫۵ درجه کمتر از دمای کندانسور ثبت شده است. اگر فرض کنیم که درجه حرارت آب ورودی به برج حدود نیم درجه با دمای کندانسور تفاوت داشته مساوی ۴۰ درجه باشد آنگاه $T_S - T_C$ به جای ۴٫۳+ مساوی ۰٫۸۴- خواهد شد.

با توجه به اینکه احتمال تأثیر خطاها در اندازه گیری و قرائت پارامترهای مختلف، ممکن است به گونه ای باشند که تأثیر همدیگر را تخفیف و یا تشدید نمایند، لذا صحت کاربرد نرم افزار محاسباتی کارایی برج خنک کن، فقط به صحت اعداد ارائه شده بستگی دارد، بنابراین جهت حصول اطمینان از صحت نتیجه گیری، قرائت و اندازه گیری پارامترهای مختلف، بایستی با دقت بسیار بالایی انجام گیرد.

۳-۳-۲- تأثیر سرعت باد

به دلیل ثبت نشدن سرعت باد نمی توان شرط $V_{Max} < 4 \text{ m/S}$ را تحقیق نمود.

^۱ - این رفتار در تاریخ های ۱۱ / ۲۹ و ۱۱ / ۳۰ و ۱۲ / ۴ نیز قابل مشاهده است.

موارد دیگری از خطاهای احتمالی به چشم می خورد. در این جدول اعدادی که در داخل پرانتز آورده شده اند پس از تصحیحاتی است که برای منطقی تر شدن اعداد ثبت شده اعمال گردیده است. مشاهده می شود که مقدار $T_S - T_C$ در دو حالت (بر اساس اعداد ثبت شده و با فرض تصحیح دما) تغییر قابل توجهی خواهد داشت.

مقدار آبدهی پمپ آب گردش در تاریخ های مربوطه ثبت نشده بود. در این جدول $G_w = 25400 \text{ t/h}$ در نظر گرفته شده است.

در نهایت باید توجه داشت که استفاده از ابزار کالیبره، با حساسیت و دقت بالا، و نیز افزایش توجه و دقت اشخاص در هنگام قرائت و ثبت اعداد، و همچنین برقرار بودن شرایطی که برای انجام تست کارایی در استانداردها و دستورالعمل های مربوطه قید شده اند (نظیر سرعت باد)، شروطی اساسی هستند که بدون رعایت آن ها نمی توان نسبت به صحت تست و دقت نتایج حاصله اطمینان داشت. به نظر می رسد که شرایط فوق در زمان ثبت اعداد مربوطه برقرار نبوده و نمی توان نسبت به مناسب و یا نامناسب بودن کارایی برج اظهار نظر قطعی نمود. به عنوان مثال بر اساس اندازه گیری های دیگری که در تابستان ۱۳۷۵ انجام شده است (جدول ۳)

$T_S - T_C$	تولید (مگاوات)	دمای آب کندانسور	دمای آب خروجی از برج	دمای آب ورودی به برج	دمای هوا	ساعت	تاریخ
-۹,۶	۱۹۵	۵۵	۴۰	۵۴	۲۳	۷	۷۵/۵/۲۹
(-۲,۳)			(۴۳)				
-۱۶	۱۹۵	۵۸,۵	۴۳	۵۸	۳۱	۱۱	
(-۱,۷)			(۴۹)				
-۱۴	۱۸۵	۶۶	۴۹	۶۵	۳۴	۱۷	
(-۲)			(۵۴)				
-۹	۱۹۰	۵۶	۴۲	۵۵	۲۶	۹	۵/۲۸
(-۱,۸)			(۴۵)				
-۱۲,۴	۱۹۰	۵۸	۴۲	۵۶	۲۹	۱۱	
(-۲,۷)			(۴۶)				
+۱,۹	۱۵۵	۵۲	۴۲	۵۰	۲۳	۷	۵/۲۷
(-۰,۵)				(۵۱)			
-۰,۸	۱۵۰	۵۶	۴۴	۵۲	۳۰	۱۱	
(-۲,۸)		(۵۴)					
-۴,۸	۱۹۰	۵۲	۴۲	۵۲	۲۵	۹	۴/۳۱
(-۲,۴)				(۵۱)			
+۷,۷	۱۵۰	۵۲	۴۳	۴۹	۲۲	۷	
(+۲,۹)				(۵۱)			
-۲,۶	۱۸۵	۶۰	۵۰	۶۰	۳۱	۱۷	
(-۱,۴)				(۵۹,۵)			
+۱۵	۱۵۰	۵۰	۴۳	۴۵	۲۲	۷	۴/۲۷
(+۴,۵)				(۴۹,۵)			
-۹	۱۹۰	۵۸	۴۲	۵۵	۲۸	۱۱	
(-۳,۷)		(۵۶)	(۴۵)				
-۱۳	۱۸۵	۶۱	۴۷	۶۱	۳۳	۱۷	
(-۳,۵)			(۵۰)	(۶۰)			
+۷,۲	۱۵۰	۵۰	۴۲	۴۷	۲۳	۷	۴/۲۵
(+۱,۱)				(۴۹,۵)			
-۳,۳	۱۵۰	۵۳	۴۲	۵۱	۲۷	۱۱	
-۳,۶	۱۵۰	۵۸	۴۳	۵۳	۳۰	۱۷	
-۹,۴	۱۸۵	۵۹	۴۴	۵۸	۲۷	۲۱	
(-۲,۲)			(۴۷)				

جدول(۳): محاسبات شاخص کارایی برج خنک کن واحد یک

تفاوت هایی بین چهار واحد فاز اول نیروگاه منتفی نیست. این تفاوت ها ممکن است نه در ارتباط با طراحی، بلکه در هنگام نصب و یا بهره برداری ایجاد شده باشند.

۴-۴- محدودیت توان تولیدی نیروگاه، فقط ناشی از برج خنک کن نمی باشد و محدودیت بویلر (احتمالاً در اثر احتراق ناقص در کوره) نیز عامل موثر دیگری در کاهش توان تولیدی نیروگاه می باشد.

۴-۵- راهکارهایی که برای افزایش کارایی برج خنک کن ارائه می شوند، عبارتند از :

(۱) افزایش ارتفاع دلتاها

(۲) کاهش زاویه دلتاها

(۳) افزایش ارتفاع تنوره برج

(۴) استفاده از خنک کن های هوایی

(۵) ترکیب های مختلف از گزینه های فوق

که بررسی تاثیرات هر یک از راهکارهای فوق بر کارایی برج های خنک کن خشک نیاز به ارائه مقالات تحقیقی دیگری می باشد

مراجع و ماخذ:

- 1- PROTOCOL "To Main Technological Explanatory Notes Which Will Form Part of The Contract Between Iran Power Generation And Transmission Company TAVANIR And V.O.Technopromexport of Moscow For One Complete 800MW Power Station of 4-200 MW Steam Turbo – Generators At Esfahan"
- 2- EGI, " Performance Specification , Thermotechnical and Aerodynamic Calculation of the Cooling Tower", Vol. A, B, C
- 3- EGI, " Know How Documents"
- 4- Warren M.Rohsenow, "Hand Book of Heat Transfer Applications" Mc. Graw Hill Book, Comp. 1985
- 5- G. Kroger, " Air Cooled Heat Exchangers and Cooling Towers", 1994
- 6- F.S.Aschner, " Planning Fundamentals of Thermal Power Plants", John Wiley, 1978

مشاهده می شود که کارایی برج واحد ۱ در این جدول در اکثر موارد مناسب می باشد. نکته قابل توجه در این جدول کارایی مناسب برج در مواردی است که واحد از قدرت تولیدی نسبتاً خوبی (حدود ۱۹۰ مگاوات) برخوردار است. بنابراین نباید این احتمال را از نظر دور داشت که محدودیت توان تولیدی نیروگاه ممکن است نه به دلیل ناکارآمدی برج، بلکه به دلایل دیگری (مثلاً خلا کندانسور) ایجاد شده باشد.

محاسبات مشابهی برای واحدهای ۲ تا ۴ نیز انجام شده است که نتایج حاصله حاکی از آنست که تقریباً در پنجاه درصد موارد کارایی برج واحد ۲، مناسب تشخیص داده می شود. این در حالی است که قدرت تولیدی واحد در اکثر قریب به اتفاق موارد در حدود ۱۵۰ مگاوات است. به نظر می رسد که این برج نسبت به برج واحد ۱ دارای مشکلات بیشتری بوده است.

همچنین با توجه به بالا بودن قدرت تولیدی واحد ۳ (۱۹۰ تا ۱۹۵ مگاوات) کارایی برج در اکثر موارد مناسب ($T_S - T_C < 0$) بوده است.

اعداد ثبت شده و نتایج حاصل از محاسبه $T_S - T_C$ مربوط به واحد ۴ نیز نشان میدهد که کارایی برج واحد ۴ مناسب بوده است. ضمناً نظیر واحدهای دیگر خطاهایی در اندازه گیری دمای نقاط مختلف صورت گرفته است.

نتیجه گیری

با بررسی ارقام ثبت شده و محاسبات ارائه شده در جداول فوق الذکر می توان نتیجه گرفت:

۴-۱- اعداد ثبت شده از دقت کافی برخوردار نیستند و نمی توان نسبت به کالیبره بودن وسایل اندازه گیری و یا دقت در ثبت اعداد اطمینان داشت.

۴-۲- محاسبات مربوط به شاخص کارایی برج نشان می دهد که برج های فاز اول (واحدهای ۱ تا ۴) در تابستان سال ۱۳۷۵ با تقریب قابل قبولی از کارایی مناسبی برخوردار بوده اند.

۴-۳- میزان کارایی برج خنک کن واحدهای ۱ تا ۴ نیروگاه شهید محمد منتظری یکسان نیست. به عنوان مثال محاسبات مربوط به کارایی واحدهای ۲ و ۴ نشان می دهد که کارایی این دو واحد مشابه نمی باشند. بنابراین احتمال وجود