بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه یزد

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی

شبیه سازی عددی تاثیر باد بر عملکرد برج خنک کن خشک طبیعی (برج هلر) نیروگاه سیکل ترکیبی یزد

استاد راهنما:

دکتر شهرام طالبی

استاد مشاور:

دکتر محمد سفید

پژوهش و نگارش:

حسن مروتی شریف‌آباد

شهریور ماه ۱۳۸۹

تقدیم به:

پدر و مادر دلسوز و همسر مهربانم.

تشکر و قدردانی

با سپاس فراوان به درگاه خالق حکیم هستی، او که به ما امکان وجود داد تا بندگی خالصانه‌اش کنیم. اکنون که پس از تلاش و کوشش و سختیهای فراوان، نگارش این تحقیق به پایان رسیده است، پس از شکر به درگاه الهی، بر خود لازم می دانم از زحمات ارزشمند استاد گرانقدر جناب آقای دکتر شهرام طالبی که به انصاف به جد مرا در انجام این تحقیق یاری نمودند و همکاری صمیمانه‌ای در تحقق این مهم داشتند. همچنین از جناب آقای دکتر محمد سفید که در تمامی مراحل انجام این پایان نامه با رهنمودهای ارزشمند خود اینجانب را راهنمائی کرده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را به عمل می‌آورم.

از پدر و مادر مهربان و دلسوزم که در لحظات دشوار زندگی غمخوار من بوده‌اند سپاسگذاری می‌نمایم، امیدوارم خداوند توفیق جبران زحمات این عزیزان را به من هدیه دهد. از همسر مهربان و فداکارم که با صبر و اطمینان قلبی خویش مرا در انجام تحقیق همراهی نمودند سپاسگذاری می‌نمایم.

از دوستان عزیزم آقایان حامد پرویز پور، علی سعیدی نژاد و علی جعفری‌زاده بخاطر همکاری صمیمانهٔ خود کمال تشکر را دارم.

چکیده

ثابت ماندن فشار کندانسور در نیروگاه های بخار اهمیت زیادی دارد زیرا فشار کندانسور با پس فشار توربین برابر است. با تغییر پس فشار توربین، توان تولیدی در راندمان نیروگاه تغییر می کند. فشار کندانسور تابعی از میزان خنک سازی آن است. این خنک سازی توسط برج خنک کن انجام می شود. عملکرد برج خنک کن با جریان طبیعی، بسیار متاثر از شرایط محیطی از قبیل دما و سرعت باد است. در پایان نامه حاضر عملکرد برج خنک کن نیروگاه سیکل ترکیبی یزد در هنگام وزش باد بررسی شده و راهکارهای اصلاحی نیز مورد توجه قرار گرفته است. نخست عملکرد برج بدون وزش باد به صورت عددی شبیه سازی شده و نتایج با داده های تجربی موجود، تایید شده است. با وزش باد نتایج شبیه سازی مشخص شده است که در سرعت های کمتر از m/s ۵، افزایش سرعت باد باعث کاهش عملکرد برج می‌شود ولی در سرعت‌های بیشتر از ۵m/s عملکرد برج بهتر می‌شود. در سرعت‌های زیاد باد، قسمت عمده جریان وارد شده به برج، به طور افقی از رادیاتورهای پشتی خارج می‌شود. بدین معنی که هوای گرم داخل برج از روی رادیاتورهای پشتی عبور نموده و از برج خارج می‌شود، در نتیجه به دلیل کاهش اختلاف دمای رادیاتورهای این ناحیه و هوا، از قدرت سرمایی این رادیاتورها کاسته می‌شود. همچنین به دلیل عبور جریان هوا به صورت مماسی روی رادیاتورهای کناری و کاهش فشار هوا مطابق قانون برنولی در این ناحیه، این دسته از رادیاتورها با کاهش شدید مکش هوا روبرو هستند و در نتیجه این رادیاتورها جزء بحرانی‌ترین رادیاتورها به حساب می‌آیند. با بستن لوورهای ورودی جریان هوای برج با یک نظام خاص، می‌توان الگوی جریان داخل برج را کنترل نمود و از خروج جریان هوا به صورت افقی از رادیاتورهای پشتی جلوگیری نمود و همچنین میزان جریان هوای ورودی رادیاتورهای کناری را افزایش داد. این موضوع به طور عددی شبیه سازی شده است و افزایش ۱۶ درصدی بهبود خنک کاری برج پیش-بینی شده است. همچنین رفتار غیر دائم برج با تغییر سرعت باد نیز بررسی شده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده ۴

فصل۱ مقدمه ای بر عملکرد و انواع برج خنک کن ۴

۱-۱. مقدمه ۵

۱-۲. انواع کندانسورهای نیروگاهی ۵

۱-۳. انواع برج خنک کن ۷

۱-۴. سیستم برج خنک کن هلر ۱۰

۱-۵. موضوع این تحقیق ۱۵

فصل۲ مروری بر تحقیقات انجام شده ۱۶

۲-۱. مروری بر کارهای گذشته ۱۷

فصل۳ معادلات حاکم و روش حل آنها ۲۹

۳-۱. مقدمه ۳۰

۳-۲. ماهیت جریان سیال ۳۰

۳-۳. معادلات جریان ۳۲

۳-۴. حل عددی معادلات ۳۶

۳-۵. مدلسازی در نرم افزارهای گمبیت و فلوئنت ۳۸

فصل۴ عملکرد برج خنک کن، بدون وزش باد ۵۶

۴-۱. مقدمه ۵۷

۴-۲. شبیه سازی لوورها و رادیاتورها ۵۸

فصل۵ عملکرد برج خنک کن با وزش باد ۷۲

۵-۱. مقدمه ۷۳

۵-۲. برج با لوورهای کاملاً باز ۷۳

۵-۳. رفتار غیردایم برج در حین تغییر سرعت باد ۹۱

۵-۴. برج با لوورهای نیمه باز ۹۴

فصل۶ جمع بندی نتایج و پیشنهادها ۱۰۲

۶-۱. نتایج تحقیق حاضر ۱۰۳

۶-۲. پیشنهادها ۱۰۵

فصل۷ مراجع Error! Bookmark not defined.

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

فصل۱ مقدمه ای بر عملکرد و انواع برج خنک کن ۴

شکل۱-۱. انواع کندانسورهای سطحی ۶

شکل۱-۲. کندانسور تماس مستقیم ۶

شکل۱-۳. انواع صفحات مورد استفاده در برج خنک کن تر ۷

شکل۱-۴. انواع برج خنک کن تر ۸

شکل۱-۵. برج خنک کن خشک جریان اجباری ۹

شکل۱-۶. برج خنک کن خشک جریان طبیعی ۹

شکل۱-۷. سیستم برج خنک کن هلر ۱۰

شکل۱-۸. مبدل حرارتی فورگو ۱۳

شکل۱-۹. نماهای مختلفی از دلتاها در یک برج خنک کن هلر ۱۳

شکل۱-۱۰. مسیر لوله کشی آب از کندانسور به برج خنک کن ۱۳

شکل۱-۱۱. برجهای خنک کن نیروگاه شهید رجایی ۱۴

فصل۲ مروری بر تحقیقات انجام شده ۱۶

شکل۲-۱. بردارهای سرعت جریان هوا در حالت بدون باد[۱] ۱۸

شکل۲-۲. بردارهای سرعت جریان هوا در حالت وزش باد[۱] ۱۸

شکل۲-۳. توزیع دمای آب خروجی برج برحسب زاویه[۱] ۱۹

شکل۲-۴. دلتای مورد بررسی در [۲] ۲۰

شکل۲-۵. توزیع فشار(سمت راست) و مقدار سرعت(سمت چپ) در یک دلتا به صورت کیفی [۲] ۲۰

شکل۲-۶. نمایی از برج مورد مطالعه و مدل ساخته شده در [۳] ۲۲

شکل۲-۷. نحوه مش بندی در [۳] ۲۲

شکل۲-۸. حالتهای مختلف استفاده از بادبندها در [۳] ۲۳

شکل۲-۹. بردارهای سرعت جریان حول دو برج (a) بدون بادبند، (b) با بادبند ۹ متری و (c) با بادبند ۲۷ متری[۳] ۲۳

شکل۲-۱۰. افزایش دمای آب بر اثر وزش باد، ۱و۲و۳ مربوط به سه نوع برج ساخته شده،۴ نتایج مربوط به برج جلویی و ۵ مربوط به برج عقبی [۳] ۲۴

شکل۲-۱۱. افزایش کارایی برج با پهنای بادبند به کار رفته [۳] ۲۴

شکل۲-۱۲. تغییرات دمای آب خروجی برج بر حسب دمای هوا ۲۵

شکل۲-۱۳. توزیع فشار در جریان طبیعی..... ۲۵
شکل۲-۱۴. ابعاد برج هلر نیروگاه شهید رجایی قزوین..... ۲۶
شکل۲-۱۵. تغییرات مولفه عمودی سرعت بر حسب تغییر دمای محیط ۲۶
شکل۲-۱۶. بردارهای سرعت در داخل و اطراف برج..... ۲۷
شکل۲-۱۷. راندمان برج بر حسب سرعت باد ۲۷
شکل۲-۱۸. آرایش چند برج در کنار هم..... ۲۸

فصل۳ معادلات حاکم و روش حل آنها ۲۹
شکل۳-۱. نوسانات سرعت در یک جریان مغشوش..... ۳۱
شکل۳-۲. ایجاد نقاط لبه بدنه برج..... ۳۸
شکل۳-۳. ایجاد بدنه برج..... ۳۹
شکل۳-۴. ایجاد مرزهای برج..... ۳۹
شکل۳-۵. ایجاد هندسهٔ سه بعدی از نصف برج..... ۴۰
شکل۳-۶. جانمایی رادیاتورها دور تا دور پایهٔ برج..... ۴۱
شکل۳-۷. نمایی از سطوح رادیاتورها و لوورها..... ۴۱
شکل۳-۸. ایجاد حجمهای مجازی اطراف برج، خطوط قرمز بدنه اصلی برج را نشان می دهند. ۴۲
شکل۳-۹. تغییر ماهیت نقطه مرکزی برج (سمت راست)، و مشبندی داخل برج (سمت چپ) ۴۳
شکل۳-۱۰. مش بندی داخل برج..... ۴۳
شکل۳-۱۱. تنظیمات لازم برای تولید مش حجم با روش Cooper..... ۴۴
شکل۳-۱۲. مش ایجاد شده در نزدیکی رادیاتورها..... ۴۴
شکل۳-۱۳. مش بندی در نواحی اطراف رادیاتورها..... ۴۵
شکل۳-۱۴. مش ایجاد شده در نواحی دوردست برج ۴۵
شکل۳-۱۵. مش بندی نهایی در صفحه *x-y*..... ۴۶
شکل۳-۱۶. نحوه مش بندی در جهت عمودی (محور z) نمای نزدیک رادیاتورها ۴۶
شکل۳-۱۷. نحوه مش بندی در جهت عمودی (محور z) اطراف بدنه برج..... ۴۷
شکل۳-۱۸. نحوه مش بندی در جهت عمودی (محور z) کل دامنه حل..... ۴۷
شکل۳-۱۹. تنظیمات حل کننده..... ۴۹
شکل۳-۲۰. تنظیمات مربوط به مدلسازی جریان مغشوش ۴۹
شکل۳-۲۱. تنظیم شرایط کاری..... ۵۰
شکل۳-۲۲. تعیین نوع سیال و خواص آن..... ۵۰
شکل۳-۲۳. دو نمای مختلف از دامنه حل و مرزهای آن ۵۱
شکل۳-۲۴. تنظیم شرط مرزی یرای لوورها ۵۲
شکل۳-۲۵. تنظیم شرط مرزی برای سطوح رادیاتورها..... ۵۳
شکل۳-۲۶. اعمال ضرایب متغییر برای افت فشار و انتقال حرارت در رادیاتورها..... ۵۴
شکل۳-۲۷. پنجره تنظیم کنترلهای جواب..... ۵۵

فصل۴ عملکرد برج خنک کن، بدون وزش باد ۵۶
شکل۴-۱. محدوده دامنه حل ۵۷
شکل۴-۲. . نمایی از مش بندی انجام شده..... ۵۸
شکل۴-۳. نمایی از مش بندی انجام شده ۵۸
شکل۴-۴. انتقال حرارت برج خنک کن بر حسب *ITD*..... ۶۱
شکل۴-۵. دبی جرمی هوای وارد شده به برج($\dot{m}_a$) ۶۲
شکل۴-۶. دمای هوای خارج شده از برج(T_e)، و دمای سطح رادیاتور(T_w) بر حسب دمای هوای محیط(T_a) ۶۲
شکل۴-۷. سرعت شعاعی (افقی) هوا در ارتفاع ۱۲ متری از سطح زمین (وسط رادیاتور)...۶۳
شکل۴-۸. تغییرات دمای هوا در ارتفاع ۱۲ متری..... ۶۴
شکل۴-۹. تغییرات سرعت روی خط مرکزی برج بر حسب ارتفاع ۶۵
شکل۴-۱۰. تغییرات دما روی خط مرکزی برج بر حسب ارتفاع..... ۶۶
شکل۴-۱۱. توزیع دما روی یک صفحه افقی در ارتفاع ۱۲ متری برای *ITD*=۲۹ ..... ۶۷
شکل۴-۱۲. توزیع فشار نسبی درون برج برای *ITD*=۲۹ ..... ۶۸
شکل۴-۱۳. توزیع دما در داخل و بیرون برج برای *ITD*=۲۹..... ۶۹
شکل۴-۱۴. توزیع سرعت عمودی برای *ITD*=۲۹ ..... ۶۹
شکل۴-۱۵. خطوط جریان در اطراف برج برای *ITD*=۲۹ ..... ۷۰
شکل۴-۱۶. بردارهای سرعت در وسط برج برای *ITD*=۲۹ ..... ۷۰

فصل۵ عملکرد برج خنک کن با وزش باد ۷۲
شکل۵-۱. دو نمای مختلف از دامنه حل و ابعاد آن..... ۷۴
شکل۵-۲. کیفیت مش بندی در صفحه *x-y* ۷۵
شکل۵-۳. کیفیت مش بندی در صفحه *x-z*..... ۷۶
شکل۵-۴. کیفیت مش بندی روی رادیاتورها(سمت راست)، و بدنه برج+لوورها(سمت چپ)۷۶
شکل۵-۵. نمایی از سنجش زاویه و صفحات انتخابی ۷۷
شکل۵-۶. توزیع مولفه x سرعت هوا روی دو خط از صفحه $z=12$ ۷۸
شکل۵-۷. انتقال حرارت برج خنک کن بر حسب سرعت باد..... ۷۹
شکل۵-۸. دبی جرمی هوای خارج شده از دهانه برج بر حسب سرعت باد..... ۸۰
شکل۵-۹. انتقال حرارت در رادیاتورها بر حسب زاویه در سرعت باد مختلف ۸۱
شکل۵-۱۰. دمای آب خروجی از رادیاتورها بر حسب زاویه در سرعت باد مختلف..... ۸۱
شکل۵-۱۱. دمای آب خروجی از رادیاتورها بر حسب زاویه در سرعت باد مختلف[۱]..... ۸۲
شکل۵-۱۲. انتقال حرارت از رادیاتورها(در زاویه های مختلف) بر حسب سرعت باد..... ۸۳
شکل۵-۱۳. سهم رادیاتورها(در زاویه های مختلف) در انتقال حرارت کل برج خنک کن... ۸۴
شکل۵-۱۴. توزیع دما (^{o}C) در صفحه عمودی میانی برج..... ۸۵
شکل۵-۱۵. خطوط مسیر و توزیع مقدار سرعت (*m/s*) در صفحه عمودی میانی برج..... ۸۷
شکل۵-۱۶. خطوط مسیر در صفحه افقی به ارتفاع ۶۰ متری ۸۸
شکل۵-۱۷. توزیع دما (^{o}C)در صفحه افقی به ارتفاع ۱۲ متری (عبوری از میان ارتفاع

رادیاتورها) ۸۹
شکل۵-۱۸. توزیع مولفه شعاعی سرعت (*m/s*) و خطوط مسیر در صفحه افقی به ارتفاع ۱۲ متری (عبوری از میان ارتفاع رادیاتورها) ۹۰
شکل۵-۱۹. توزیع مولفه شعاعی سرعت (*m/s*) روی لوورها در سرعت باد مختلف ۹۱
شکل۵-۲۰. توزیع دما (^{o}C)در صفحه عمودی میانی برج در زمانهای مختلف برای تغییر سرعت باد از *m/s* ۳ به *m/s* ۸ ..... ۹۲
شکل۵-۲۱. تغییرات زمانی دما (^{o}C) و دبی جرمی (*ton/sec*) از دهانه خروجی برج برای تغییر سرعت باد از *m/s* ۳ به *m/s* ۸ ..... ۹۳
شکل۵-۲۲. تغییرات زمانی دما (^{o}C) و دبی جرمی (*ton/sec*) از دهانه خروجی برج برای تغییر سرعت باد از *m/s* ۶ به *m/s* ۹ ..... ۹۳
شکل۵-۲۳. توزیع دما (^{o}C) روی صفحه عمودی میانی برج در سرعت باد *m/s* ۵ با لوورهای نیمه باز ۹۶
شکل۵-۲۴. توزیع مقدار سرعت (*m/s*) و خطوط مسیر روی صفحه عمودی میانی برج در سرعت باد *m/s* ۵ با لوورهای نیمه باز ۹۷
شکل۵-۲۵. توزیع دما (^{o}C)در صفحه افقی به ارتفاع ۱۲ متری (عبوری از میان ارتفاع رادیاتورها) در سرعت باد *m/s* ۵ با لوورهای نیمه باز ۹۸
شکل۵-۲۶. توزیع مولفه شعاعی سرعت (*m/s*) و خطوط مسیر در صفحه افقی به ارتفاع ۱۲ متری (عبوری از میان ارتفاع رادیاتورها) در سرعت باد *m/s* ۵ با لوورهای نیمه باز ۹۹
شکل۵-۲۷. تغییر مولفه شعاعی سرعت روی لوورها بر حسب زاویه در سرعت باد *m/s* ۵ با لوورهای نیمه باز ۱۰۰
شکل۵-۲۸. توزیع انتقال حرارت از رادیاتورها بر حسب زاویه در سرعت باد *m/s* ۵ با لوورهای نیمه باز ۱۰۰

فصل۶ جمع بندی نتایج و پیشنهادها ۱۰۲

فصل۷ مراجع Error! Bookmark not defined.

فهرست جداول

فصل۱ مقدمه ای بر عملکرد و انواع برج خنک کن ۴

فصل۲ مروری بر تحقیقات انجام شده ۱۶

جدول۲-۱. مقایسه انتقال حرارت در قسمتهای مختلف رادیاتور ۲۸

فصل۳ معادلات حاکم و روش حل آنها ۲۹

فصل۴ عملکرد برج خنک کن، بدون وزش باد ۵۶

جدول۴-۱. ضرایب رابطه (۴-۲) ۵۹

فصل۵ عملکرد برج خنک کن با وزش باد ۷۲

جدول۵-۱. انتقال حرارت برج (*MW*) در سرعت باد *m/s* ۵ با تغییر ضریب افت فشار لوورها ۱۰۱

جدول۵-۲. دبی جرمی (*kg/s*) هوای خارج شده از دهانه برج در سرعت باد *m/s* ۵ با تغییر ضریب افت فشار لوورها ۱۰۱

فصل۶ جمع بندی نتایج و پیشنهادها ۱۰۲

فصل۷ مراجع Error! Bookmark not defined.

پیش گفتار

مشخص کننده میزان پیشرفت و تکنولوژی هر کشوری میزان تولید برق و میزان استفاده آن در صنایع آن است. برق و منابع تولید آن یعنی نیروگاهها جایگاه بسیار مهمی در پیشرفت هر کشوری دارند. تولید برق کشور ما ایران بر پایه سه نمونه از توربینهای بخار، آبی و گازی استوار می‌باشد.

چرخهٔ آب در نیروگاههای بخار یک سیکل بسته را طی می‌کند. بنابر این باید فشار بخار خروجی از توربین، افزایش یافته و سپس وارد بویلر شود. افزایش فشار یک جریان دو فازی کاری مشکل و پرهزینه است. در نتیجه بخار خروجی از توربین در کندانسور به مایع تبدیل می‌شود و سپس به کمک پمپ، فشار آن افزایش می‌یابد و به سمت بویلر هدایت می‌شود. در نمونه کندانسورهای تماس مستقیم، آب خنک کن وظیفهٔ کندانس بخار خروجی توربین را به عهده دارد. برای سرد شدن آب خنک‌کن واسط، از برج خنک‌کن استفاده می‌شود. سرعت و مقدار جریان هوای عبوری از روی مبدلهای برج خنک‌کن خشک در جریان اجباری از طریق تغییر دور و تعداد فنها تنظیم می‌شود،در حالی که در جریان طبیعی این کار با تنظیم دریچه‌های کرکره مانند در ورودی هوا به برج صورت می‌پذیرد. برجهای خنک کنندهٔ خشک طبیعی نوع هلر کارایی خوبی در خنک کردن آب خروجی از کندانسورهای نیروگاه‌های حرارتی بخار دارند. از مهمترین ویژگیهای این نوع برج، هزینهٔ تعمیرات نگهداری بسیار پایین و مصرف آب ناچیز(آب دلوژ[1] در پیک[2] بار تابستان) می‌باشد. با توجه به اقلیم خشک ایران، به طور گسترده از این نوع برجها در کشور استفاده شده است.

ضعف اساسی برجهای خنک کنندهٔ خشک طبیعی، تأثیر شرایط جوی نظیر دمای محیط و وزش باد روی عملکردحرارتی برج وکاهش راندمان کاری آن می‌باشد. اثر منفی وزش باد، اختلال در جریان هوای طبیعی برج می‌باشد. با وزش باد، تعادل فشار برج که اساس کار آن بوده به هم

[1] deluge
[2] peak

می‌ریزد و مکش هوای متقارن برج با مشکل روبرو می‌شود. وزش باد با ایجاد گردابه‌هایی در پشت و درون برج، ساختار جریان هوا را کاملاً به‌هم می‌زند آنچنانکه در سرعتهای شدید باد، جریان هوای سمت باد با عبور از رادیاتورهای پیشانی باد، با گذر از رادیاتورهای پشتی از برج خارج می‌شوند و مسیر طبیعی خود به سمت اگزوز برج را پیش نمی‌گیرند. همچنین عبور باد از روی دهانهٔ خروجی برج، موجب خفگی برج شده و مانعی در برابر خروج هوای گرم داخل برج می‌باشد. همچنین به دلیل فرار جریان هوا به صورت مماسی روی رادیاتورهای کناری و کاهش فشار هوا مطابق قانون برنولی در این ناحیه، این دسته از رادیاتورها با کاهش شدید مکش هوا روبرو هستند و در نتیجه این رادیاتورها جزء بحرانی ترین رادیاتورها هستند. اثر منفی این پدیده‌ها به‌قدری است که سبب کاهش قدرت سرمایی برج شده و دمای آب کندانسور را زیاد می‌کند. بنابر این فشار کندانسور افزایش یافته و توان تولیدی توربین کم می‌شود. بنابر این لازم است در جهت رفع این مشکلات راه‌کارهای مناسبی ارائه شود. هدف از تحقیق حاضر، شبیه‌سازی برج هلر نیروگاه سیکل ترکیبی یزد با اندازه واقعی[1] می‌باشد. در ابتدا برج با جریان طبیعی شبیه سازی می‌شود و نتایج آن با منحنی عملکرد واقعی برج جهت مستند سازی شبیه سازی مقایسه می‌شود. سپس به بررس عملکرد برج با وزش باد در سرعتهای مختلف پرداخته می‌شود. در آخر به بررسی نقش لوورها روی الگوی جریان برج می‌پردازیم و جهت اصلاح الگوی باد و کاهش اثرات منفی وزش باد روی عملکرد برج هلر نیروگاه یزد، تنظیم صحیح و به‌موقع لوورها ارائه می‌شود.

در فصل یک به بررسی انواع برج خنک کن و چگونگی عملکرد آن می‌پردازیم. فصل دوم به بررسی تحقیقات انجام شده در این زمینه پرداخته شده است. فصل سوم معادلات حاکم بر جریان مغشوش سه بعدی را تشریح می‌نماید. شبیه سازی مسئله در نرم افزارهای GAMBIT & FLUENT نیز در این فصل ارائه شده است. فصل ۴، عملکرد برج بدون وزش باد را مورد بررسی قرار داده است. فصل ۵ به بررسی عملکرد برج در حالت وزش باد پرداخته و راهکارهای اصلاحی

[1] Full scale

کاهش اثرات منفی باد ارائه شده است. جمع بندی نتایج تحقیق در فصل ۶ ارائه شده است.

فصل ۱

مقدمه ای بر عملکرد و انواع برج خنک کن

۱-۱. مقدمه

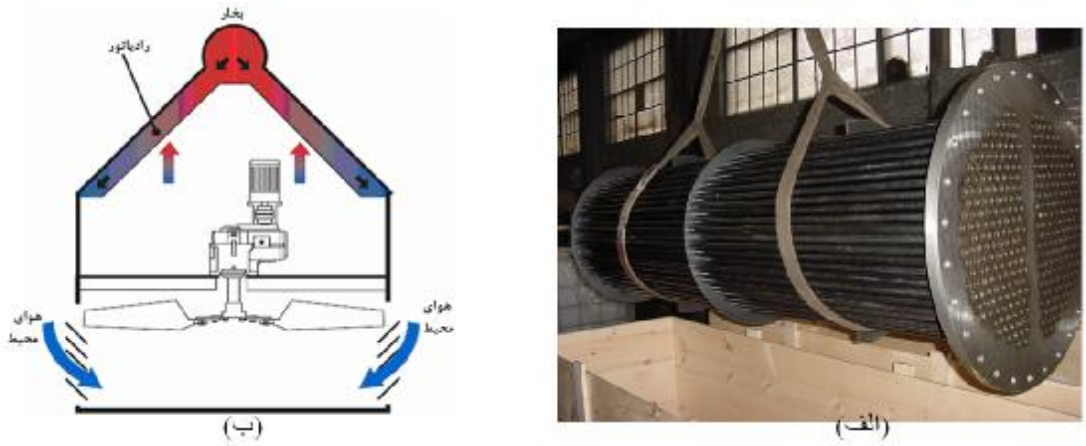
چرخهٔ آب در نیروگاههای بخار یک سیکل بسته را طی می‌کند. بنابر این باید فشار بخار خروجی از توربین، که دما و فشار آن کاهش یافته است، افزایش یافته و سپس وارد بویلر شود. با توجه به هدف اخذ بیشترین مقدار انرژی از جریان بخار در توربین، عموماً بخار خروجی از توربین به حالت دو فازی است. افزایش فشار یک جریان دو فازی کاری مشکل و پرهزینه است. در نتیجه بخار خروجی از توربین در کندانسور به مایع تبدیل می‌شود و سپس به کمک پمپ، فشار آن افزایش می‌یابد. البته بنابر قانون دوم ترمودینامیک لازم است در یک سیکل تولید قدرت، قسمتی از گرما به محیط داده شود. این انتقال گرما در کندانسور صورت می‌گیرد.

۱-۲. انواع کندانسورهای نیروگاهی

کندانسورهای نیروگاهی عموماً به دو گونه هستند: کندانسورهای سطحی و کندانسورهای تماس مستقیم. در کندانسورهای سطحی، بخار با سیال تماس مستقیم نداشته و گرما توسط هدایت از جداره لوله‌ها از جریان بخار به یک سیال واسطه منتقل می‌شود. به عنوان مثال در کندانسوری به صورت یک مبدل حراتی لوله-پوسته‌ای[۱]، شکل۱-۱-الف، بخار روی لوله‌ها به مایع تبدیل شده و جریان آب سردی این گرما را از کندانسور خارج می‌کند. این جریان آب خنک‌کن، به محیط(رودخانه یا دریا) تخلیه می‌شود یا در یک برج خنک‌کن گرمای خود را به هوای محیط داده و دوباره به کندانسور باز می‌گردد. در شکل دیگری از این نوع کندانسورها، انتقال گرما مستقیماً به هوا صورت می‌گیرد(شکل۱-۱-ب). بخار خروجی از توربین در لوله‌های پره‌داری توزیع می‌شود و جریان هوا با عبور از روی این لوله‌ها، گرما را به محیط منتقل می‌کنند.

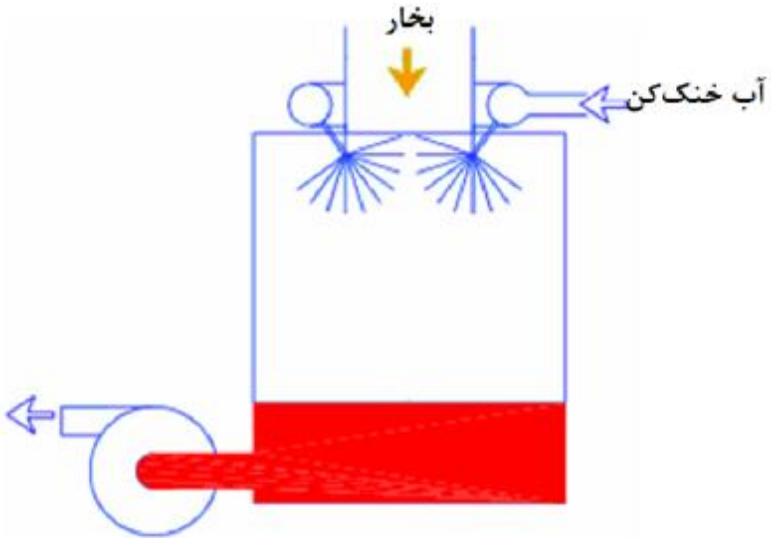
---

[۱] shell and tube



شکل۱-۱. انواع کندانسورهای سطحی

در کندانسورهای تماس مستقیم، شکل۱-۲، آب خنک کن از میان شیپوره‌ها به فضای داخلی کندانسور پاشیده شده و در اثر تماس مستقیم بخار با قطرات مایع، تغییر فاز رخ می‌دهد. در این نوع کندانسور کیفیت جریان آب خنک‌کن خیلی مهم است زیرا این آب با جریان آب اصلی سیکل مخلوط شده و بنابر این باید با همان کیفیت باشد.



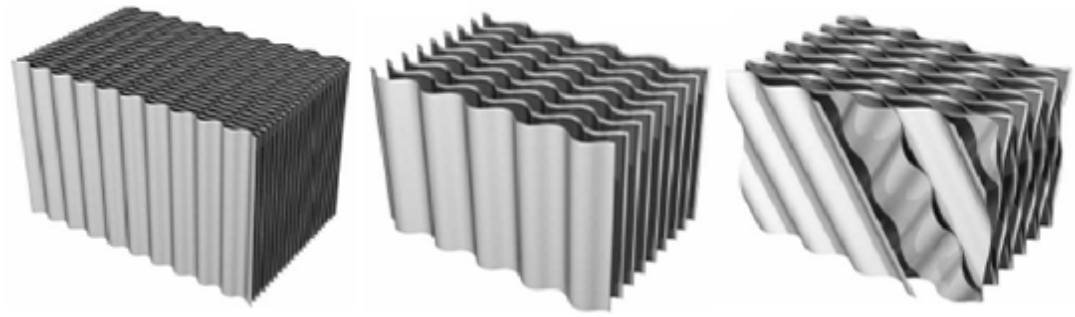
شکل۱-۲. کندانسور تماس مستقیم

استفاده از کندانسور سطحی که با آب رودخانه یا دریا خنک می‌شود، تکنولوژی ارزان و کارایی بسیار بالایی دارد. ولی نیاز به منابع بزرگ آبی، به‌کارگیری آن را دچار مشکل می‌کند. در نتیجه این سیستم برای مناطقی که منابع آبی کمی دارند، مناسب نیست. کندانسورهایی که مستقیماً با هوا خنک می‌شوند، کارایی پایین و هزینهٔ اولیهٔ بالاتری دارد، ولی هیچ مصرف آبی

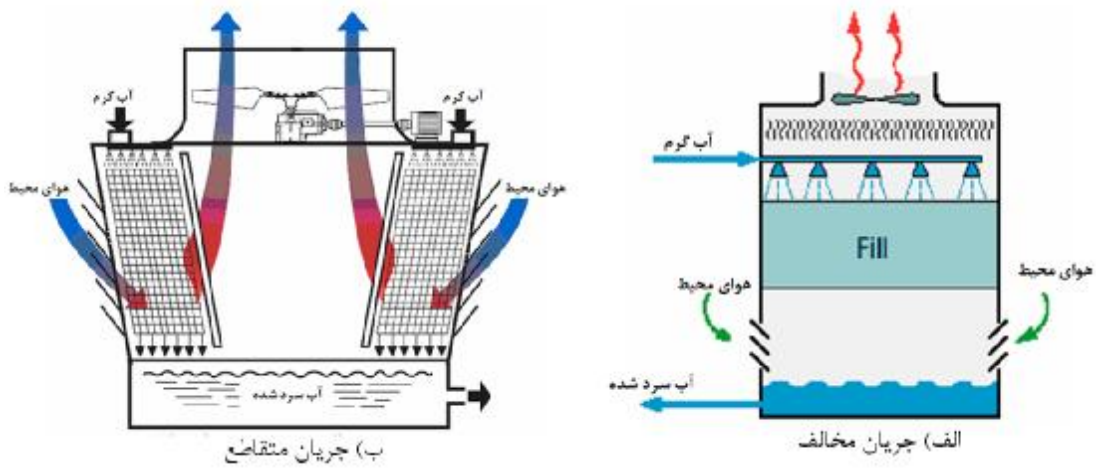
ندارند. به دلیل مشکلات انتقال بخار، این سیستم باید نزدیک توربین قرار داشته باشد. به دلیل استفاده از هوا به عنوان سیال خنک‌کن، سطح سرمایش بزرگی برای این کندانسورها لازم است. این نوع کندانسورها برای اولین بار در سال ۱۹۳۹ در یک نیروگاه کوچک در آلمان استفاده گردید. بنابر این، در مناطق کم آب استفاده دو باره از آب خنک‌کن لازم است. برای رسیدن به این منظور، باید از برج خنک‌کن استفاده کرد.

۱-۳. انواع برج خنک کن

برای سرد شدن آب خنک‌کن، باید گرما از آب خنک‌کن به هوای محیط منتقل شود. این کار در برج خنک‌کن صورت می‌گیرد. برجهای خنک‌کن به دو دسته برج تر و برج خشک تقسیم می‌شوند. در برجهای تر، آب و هوا تماس مستقیمی با یکدیگر دارند. بنابر این تبخیر آب مهمترین عامل سرمایش جریان آب خنک‌کن است. برای تماس بهتر آب با هوا، از صفحات خاصی مانند شکل۱-۳ استفاده می‌شود. با توجه به جهت جریانهای آب و هوا، برجهای خنک‌کن تر مطابق شکل۱-۴، به دو دسته جریان مخالف و جریان متقاطع تقسیم می‌شوند.



شکل۱-۳. انواع صفحات مورد استفاده در برج خنک کن تر

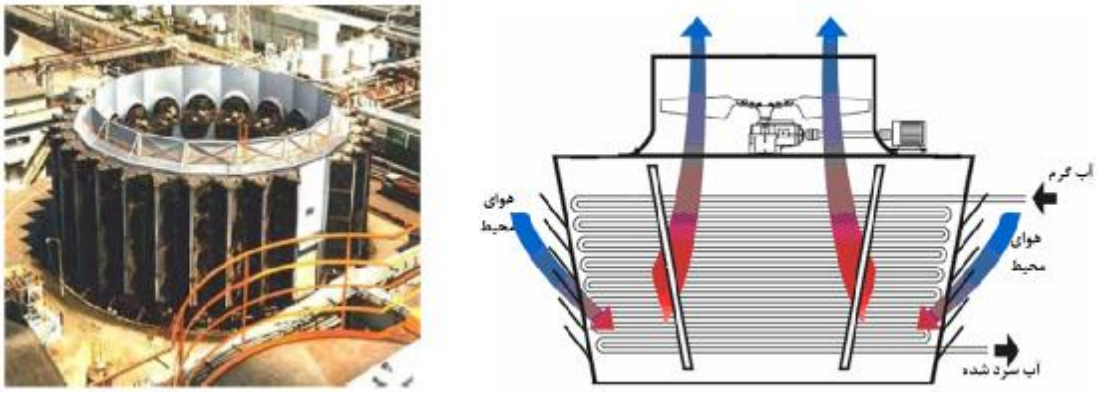


شکل۱-۴. انواع برج خنک کن تر

با توجه به تبخیر آب، همیشه مقداری آب جبرانی به برج خنک‌کن تر باید اضافه گردد. بنابر این در مناطق خشک و کم آب، استفاده از برج خنک‌کن تر مقرون به صرفه نیست. در برج خنک‌کن خشک، آب و هوا تماس مستقیمی ندارند. آب درون لوله‌های پره‌داری جریان دارد که هوا روی این لوله‌ها حرکت می‌کند. این نوع برجهای خنک‌کن به همراه کندانسور تماس مستقیم بسیار مناسب است. زیرا در فرایند سرمایش آب خنک‌کن، هیچ آلودگی وارد آب نمی‌شود. استفاده از این سیستمها برای مناطق کم آب بسیار مناسب است. میزان سرمایش آب خنک‌کن، فشار کندانسور را تحت تأثیر قرار می‌دهد. زیرا این آب به‌طور مستقیم با بخار درون کندانسور تماس دارد. بنابر این در نیروگاههایی که از این نوع سیستم سرمایشی استفاده می‌کنند، عملکرد برج خنک‌کن خشک بر راندمان کل سیکل نیروگاه تأثیر بسزایی دارد.

جریان هوا در یک برج خنک‌کن به دو طریق اجباری یا طبیعی برقرار می‌شود. جریان اجباری هوا توسط فن ایجاد می‌شود. اختلاف چگالی هوای سرد با گرم، عامل حرکت طبیعی هوا است. از این عامل در برج خنک‌کن جریان طبیعی استفاده می‌شود. به علت کمتر بودن سرعت هوا در جریان طبیعی نسبت به جریان اجباری، سطوح انتقال حرارت بیشتری در برج خنک‌کن طبیعی مورد نیاز است. بنابر این تجهیزات جریان طبیعی بزرگتر از جریان اجباری است. در شکل۱-۵ برج خنک‌کن خشک جریان اجباری نشان داده شده است. شکل۱-۶ نمایی از یک برج خنک‌کن خشک جریان طبیعی است. این دو شکل، اختلاف اندازه برج خنک‌کن جریان اجباری و طبیعی را به‌خوبی

نشان می‌دهد. به علت وجود فن در برجهای اجباری، این نوع برجها مصـرف بـرق و صـدای زیـادی دارند. در صورتی که در برجهای جریان طبیعی، هیچ تجهیزات اضافی دیگری نیاز نیست.



شکل۱-۵. برج خنک کن خشک جریان اجباری

شکل۱-۶. برج خنک کن خشک جریان طبیعی