


کد سند: RO-S-F-27-04	معاونت پژوهشی	
تاریخ صدور: ۱۳۹۹/۴/۲۲		
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۵	فرم خلاصه فارسی طرح / پروژه	

عنوان طرح/پروژه: بررسی تاثیر مه‌پاشی بر عملکرد حرارتی کندانسور هواخنک لوله تخت نیروگاهی

واحد مجری:	گروه پژوهشی سیکل و مبدل‌های حرارتی	کارفرما:	پژوهشگاه نیرو
مدیر طرح/پروژه:	رامین حاجیان	مجری:	فرشته رحمانی
کد مالی پروژه:	۹۳۷۰۰۰	کد کیفی پروژه:	POPPN25
نوع طرح/پروژه:	امانی	معاونت:	پژوهشی

همکاران: رامین حاجیان

کلمات کلیدی: (۶ تا ۱۰ مورد)

کندانسور هواخنک - شبیه‌سازی - ACC - مه‌پاشی - خنک‌کاری تبخیری - CFD - پاشش - اتمیزاسیون - مبدل حرارتی

ضرورت انجام پروژه/طرح:

بنابر مطالعات و بررسی‌های انجام شده، تاکنون تاثیر مه‌پاشی بر عملکرد حرارتی کندانسور هواخنک به طور جامع و گسترده مورد مطالعه قرار نگرفته است. قبل از به کارگیری این روش و به منظور تعیین سناریو و فرآیند مناسب مه‌پاشی، لازم است ابتدا شناخت کافی از تاثیر مه‌پاشی بر عملکرد کندانسور هواخنک وجود داشته باشد. از این حیث، مطالعات ترمودینامیکی، شبیه‌سازی CFD و تحلیل تاثیر پاشش آب بر عملکرد حرارتی کندانسور هواخنک نیروگاهی ضروری است.

اهداف پروژه/طرح:

عملکرد کندانسور تاثیر مستقیم بر فشار پشت توربین بخار (back pressure) داشته و لذا نقش جدی در عملکرد نیروگاه و میزان توان برق تولیدی دارد. کندانسور هواخنک شامل تعدادی دسته لوله (tube bundle) است که بخار خروجی از توربین درون این لوله‌ها چگالش یافته و گرمای آن توسط جریان هوای روی دسته لوله‌ها دفع می‌شود. جریان هوای اجباری روی دسته لوله‌ها توسط فن ایجاد می‌شود. به منظور بهبود انتقال حرارت در این کندانسورها (و کاهش فشار پشت توربین) به ویژه در هوای گرم تابستان می‌توان از روش مه‌پاشی استفاده کرد. در کندانسور A شکل (A-frame)، آرایه نازل‌ها بین فن و دسته لوله‌ها قرار گرفته و با دمش هوا توسط فن، میکروقطرات آب به همراه جریان هوا به سمت دسته لوله‌ها حرکت می‌کنند. هدف از این پروژه، مطالعات ترمودینامیکی و همچنین شبیه‌سازی عددی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) و بررسی تاثیر پاشش آب بر عملکرد حرارتی کندانسور هواخنک متشکل از لوله‌های تخت و پره‌های موجی شکل است. شبیه‌سازی CFD شامل دو بخش ناحیه زیر ACC و فضای بین دسته‌لوله‌ها است.

چکیده پروژه/طرح:

همانطور که از عنوان پروژه مشخص است هدف از این پروژه بررسی اثرات مه‌پاشی بر عملکرد حرارتی کندانسور هواخنک لوله تخت نیروگاهی بوده است. این پروژه در چهار مرحله انجام شده است. در مرحله اول پروژه ضمن بررسی اصول عملکرد ACC و تحقیقات انجام شده در این حوزه، مروری اجمالی بر روش‌های خنک‌کاری تبخیری و موضوع پاشش^۱ انجام شد. در مرحله دوم تاثیر مه‌پاشی بر عملکرد ACC از دیدگاه ترمودینامیکی و معادلات بالانس جرم و انرژی مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین انطباق نتایج بر روی نمودار سایکرومتریک و تحلیل نتایج انجام شد. در این مرحله از دو نرم افزار ترموفلو و EES برای تحلیل‌های ترمودینامیکی استفاده شد. در مرحله سوم، شبیه‌سازی عددی جریان هوای حامل ریزقطرات آب قبل از ورود به دسته لوله انجام شد. در این مرحله شبیه‌سازی این جریان دو فازی شامل حرکت هوا و قطرات، تبخیر و تغییرات دما مد نظر بود. در این مرحله فرض تبخیر کامل وجود نداشته و هدف از این مرحله این بود که مشخص شود هوا قبل از ورود به دسته لوله‌ها چه دمایی دارد، چه مقدار از آب پاشش شده تبخیر شده و اینکه توزیع اندازه قطرات تبخیر نشده در آن به چه صورت است. در مرحله چهارم به عنوان مرحله پایانی بررسی عبور جریان هوای حامل ریزقطرات آب از روی دسته لوله مد نظر بوده است. در این مرحله جریان دوفازی هوای حاوی میکروقطرات وارد شده به دسته لوله، مورد مطالعه قرار گرفته است. داده‌های ورودی این مرحله در واقع اطلاعات خروجی مرحله قبل است. در مجموع برآورد می‌شد که در انتهای این پروژه شناخت بهتری نسبت به تاثیر مه‌پاشی بر تغییرات دمای هوا و عملکرد کندانسور حاصل شود. این شناخت دستاوردی قابل توجه و ارزشمند برای طراحی کندانسورهای هواخنک است. عمده فرآیند پروژه مطابق پیش‌بینی اولیه انجام شد. با اینحال بعضی از نتایج مرحله سوم (مانند توزیع اندازه قطرات ورودی به دسته لوله) قابل استفاده در مرحله چهارم نبود. در شرایطی که عدم قطعیت در دقت داده‌های مورد استفاده وجود داشت سعی بر این بود که داده‌های ورودی به نحوی انتخاب شوند که به نوعی یک حساسیت‌سنجی متغیر وابسته نسبت به متغیر مستقل انجام شود.

مهمترین دستاورد کاربردی این پروژه شناخت نسبت به ابعاد مختلف شبیه‌سازی و طراحی حرارتی و سیالاتی سمت هوا در کندانسور هواخنک (شامل مباحث ترمودینامیکی و هیدرودینامیکی) است. دستاورد دیگر، ایجاد بستر شبیه‌سازی جریان هوا و انتقال حرارت بر روی دسته‌لوله ACC در نرم‌افزار فلونت است. به کمک این بستر نرم‌افزاری می‌توان با در نظر گرفتن سرعت‌های مختلف هوا در نقاط مختلف ACC مقدار انتقال حرارت موضعی روی دسته‌لوله‌ها را محاسبه و تغییرات انتقال حرارت در نقاط مختلف را تحلیل و بررسی کرد. به این ترتیب ابزاری قوی برای طراحی ACC ایجاد شده است. همچنین یکی از دستاوردهای جانبی این پروژه آشنایی با ابعاد مختلف طراحی و بهینه‌سازی عملکرد کندانسور هواخنک از منظر واحدهای صنعتی (شرکت‌های سازنده و نیروگاه‌ها) بوده است.

در ارتباط با موضوع استفاده از پاشش آب به منظور بهبود عملکرد، ACC باید زوایای مختلفی مورد بررسی قرار گیرد. در این پروژه تنها به مباحث مربوط به عملکرد حرارتی (و به طور خاص انتقال حرارت سمت هوا) پرداخته شد. در کنار این مباحث، ضروری است موضوعاتی مثل سازگاری شیمیایی آب با دسته‌لوله‌ها (و اطمینان از عدم ایجاد خوردگی) و همچنین تحلیل اقتصادی استفاده از آب نیز مورد بررسی قرار گیرند تا بتوان با یک نگاه همه‌جانبه در این خصوص اظهارنظر کرد.

به منظور استفاده بهینه از نتایج این پروژه و در راستای مأموریت پژوهشگاه نیرو و به ویژه گروه پژوهشی سیکل و مبدل‌های حرارتی پیشنهادات زیر ارائه می‌گردد:

✓ مراحل سوم و چهارم این پروژه به شبیه‌سازی CFD جریان هوای حامل قطرات در دو ناحیه زیر ACC و روی دسته‌لوله‌ها اختصاص داشته و فرآیند شبیه‌سازی دو ناحیه به صورت مجزا انجام شده است. چنانچه بتوان این دو مرحله را به نوعی با هم ادغام کرد و شبیه‌سازی یکپارچه انجام داد موجب می‌شود که خروجی‌های قسمت اول به شکل بهتر و دقیقتری در قسمت دوم مورد استفاده قرار بگیرد. البته در این مسیر چالش‌های جدی حل عددی ناشی از تفاوت مقیاس وجود دارد که باید به نوعی مرتفع شود.

- ✓ به منظور ایجاد یک زیرساخت قوی طراحی دسته‌لوله ACC می‌توان بستر نرم‌افزاری ایجاد شده را برای هندسه دقیق فین شامل موج روی فین به‌روزرسانی کرده و به این ترتیب امکان شبیه‌سازی و طراحی دسته‌لوله ACC را فراهم کرد. به این منظور باید یک تعامل سازنده بین پژوهشگاه و شرکت‌های سازنده ایجاد شود زیرا در غیر اینصورت دسترسی به نقشه‌های فنی دسته‌لوله‌ها چندان میسر نیست.
- ✓ قابلیت شبیه‌سازی و طراحی دسته‌لوله منحصر به ACC نیست بلکه برای انواع مبدل‌های هواخنک از جمله کولرهای هواخنک نیروگاهی امکان پیاده‌سازی دارد.
- ✓ با توجه به اینکه این پروژه به نوعی فتح باب پرداختن به موضوع پاشش و خنک‌کاری تبخیر است، می‌توان پروژه‌های دیگر مرتبط با این موضوعات را در پژوهشگاه تعریف و اجرا کرد.
- ✓ مطالعات CFD بر روی ACC دامنه وسیعی دارد. در حال حاضر مراکز علمی، پژوهشی و صنعتی کشور به صورت جزیره‌ای و پراکنده هریک بر روی بخشی از این موضوعات مطالعاتی انجام داده‌اند. لازم است کمیته‌ای با محوریت پژوهشگاه نیرو تشکیل شود که متولی ساماندهی پروژه‌های پژوهشی ACC در حوزه شبیه‌سازی و طراحی باشد. این کمیته می‌تواند نظر مثبت و همکاری صنعت (اعم از شرکت‌های سازنده و نیروگاه‌ها) را جلب کند.

مراحل و روش‌های انجام پروژه/طرح:

مرحله ۱: مطالعات و بررسی‌های اولیه

مرحله نخست به مطالعات مقدماتی مرتبط با پروژه اختصاص یافته است. در این مرحله علاوه بر مرور پیشینه تحقیقات، اصول عملکرد ACC و نیز انواع روشهای خنک‌کاری تبخیری بررسی می‌شود. در انتهای این مرحله روشهای دینامیک سیالات محاسباتی مورد استفاده در این پروژه معرفی شد.

مرحله ۲: تحلیل ترمودینامیکی

در این مرحله با فرض تبخیر کامل قطرات ناشی از مه‌پاشی، تغییرات شرایط ترمودینامیکی و تاثیر آن بر بهبود خنک‌کاری کندانسور هواخنک بررسی شد. در این حالت متغیر مستقل مقدار آب مصرفی است که از صفر تا حد اشباع هوا تغییر می‌کند. متغیر وابسته دمای حباب خشک هوا است که مستقیماً بر روی بهبود خنک‌کاری ACC تاثیر می‌گذارد. در این مرحله از نرم‌افزار EES برای حل یکپارچه و صفربعدی معادلات تبخیر قطرات استفاده شده است. همچنین از نرم‌افزار ThermoFlow برای شبیه‌سازی پاشش در ACC استفاده شده است.

مرحله ۳: شبیه‌سازی عددی جریان هوای حامل ریزقطرات آب قبل از ورود به دسته لوله

نازل‌های مه‌پاشی بین فن و دسته لوله‌های کندانسور هواخنک قرار می‌گیرند. به محض پاشش آب و به دلیل رانش ناشی از فن، جریان دوفازی هوا و میکروقطرات آب به سمت دسته لوله‌ها حرکت می‌کند. در مرحله سوم، شبیه‌سازی این جریان دوفازی شامل حرکت هوا و قطرات، تبخیر و تغییرات دما انجام می‌شود. در این مرحله فرض تبخیر کامل وجود ندارد. هدف از این مرحله این است که مشخص شود هوا قبل از ورود به دسته لوله‌ها چه دمایی دارد، چه مقدار از آب پاشش شده تبخیر شده و اینکه توزیع اندازه قطرات تبخیر نشده در آن به چه صورت است. این مرحله در واقع شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) جریان هوای حامل ریزقطرات در فضای زیر ACC است که با روش حجم محدود و با استفاده از نرم‌افزار Ansys Fluent انجام شده است.

مرحله ۴: بررسی عبور جریان هوای حامل ریزقطرات آب از روی دسته لوله

در این مرحله جریان دوفازی هوای حاوی میکروقطرات وارد شده به دسته لوله، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. بررسی انتقال حرارت جریان هوای حامل قطرات با سطوح لوله و فین به روش CFD و با استفاده از نرم‌افزار Ansys Fluent در این مرحله انجام شده است. داده‌های ورودی این مرحله در واقع اطلاعات خروجی مرحله قبل است.

اهم نتایج به‌دست‌آمده از انجام پروژه/طرح (خروجی‌های فنی، ثبت اختراع، مقالات، کتب، گزارش‌های فنی و ...):

خروجی‌های این پروژه مشتمل بر چهار گزارش فنی است.