بسم الله الرحمن الرحيم

به نام خدا

نگرشی بر قوانین طراحـــی سیستم‌های بخار – کندانس

ترجمه و تالیف :

مهندس آزاده انجم شعاع

مهندس غلامرضا عابدی

انتشارات ارسطو

(چاپ و نشر ایران)

۱۳۹۹

تقدیم به :

این کتـــاب را با احتـــرام فراوان تقدیم خانواده‌ام می‌کنم.

چرا که با محبت‌ها، حمایت‌ها و ایمانشان به من مایه اطمینـــان خاطر، دلگرمی و آرامشم هستند.

می‌دانـــم چـــه چیـــزی را به چه کسی مدیونم.

از آنها قدردانی می‌کنم.

آزاده انجم شعاع

تقدیم به:

مادرم که فروغ نگاهش و گرمی کلامش سرمایه جاودانه زندگی‌ام است.

روح پاک پدرم که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی ایستادگی را تجربه کنم.

و همسرم که اسطوره زندگی ام، پناه خستگی‌ام و امید بودنم است.

غلامرضا عابدی

فهرست مطالب

فصل ۱ : مقدمه ۱۰

فصل ۲ : نیروگاه بخار ۱۶

فصل ۳ : سیستم بخار-کندانس ۳۴

فصل ٤ : اجزای اصلی سیستم کندانس ۵۴

فصل ۵ : مشکلات کندانس ۹۷

فصل ٦ : ملاحظات طراحی ۱۱۷

پیشگفتار

تولید پایدار محصول کیفی و در ظرفیت اسمی از اولویت‌های اصلی هر واحد تولیدی می‌باشد. یکی از مهمترین هزینه‌های هر واحد تولیدی صنعتی در جهت رسیدن به اهداف تولیدی مد نظر، هزینه تامین انرژی مورد نیاز برای به کار انداختن خطوط تولید می‌باشد. هر پروژه که منجر به کاهش مصرف انرژی و بهینه سازی آن گردد تاثیر زیادی در سودآوری مجموعه تولیدی خواهد داشت. علاوه بر این طبق استانداردهای سختگیرانه جدید، واحدهای تولیدی باید از آلودگی محیط زیست جلوگیری کنند. با توجه به اهمیت بسیار زیاد بهینه سازی مصرف انرژی و کاهش آلاینده‌ها چند پروژه در گروه صنعتی بارز تعریف و توسط پرسنل جوان و با انگیزه بارز اجرا گردید. با

انجـام مطالعات اصولی و باز طراحی خطوط مربوط به بخـار مصرفی کارخانه به میـزان قابل ملاحظه‌ای از اتلاف انرژی جلوگیری شـد و همچنین از این طریق میزان آلایندگی شـیمیایی و صوتـی نیز کاهش داده شده و کیفیت تایر تولیدی افزایش پیدا کرده است.

در کتـاب حاضر که به همـت خانم مهندس آزاده انجم شـعاع و آقـای مهنـدس غلامرضـا عابدی از همکاران جوان واحد تحقیق و توسعه نگاشته شده است به صورت علمی و تجربی، قوانین طراحی سیستم بخار و کندانس مورد بحث و بررسی قرار گرفته اند. در واقع بهره برداری مناسـب از سیسـتم بخار-کندانس برای عملکرد یک واحد تولیدی وابسـته به بخار بسیار مهم اسـت زیرا با کاهش نیاز حرارتـی بویلر، میزان خرابی تجهیزات خط لوله و خطرات زیست محیطی،کارایی و صرفه اقتصادی تولید افزایش می‌یابد.

این کتاب در ۶ فصل تدوین شـده اسـت که در فصل اول به کلیات و مقدمه پرداخته شـده اسـت، در

فصل دوم نیروگاه بخار و الزامات طراحی بحث شـده است در فصل سـوم سیسـتم بخار-کندانس توضیح داده شـده است. در فصل چهارم اجزای اصلی سیستم کندانس مورد بررسـی قرار گرفتـه اند در فصل پنجم نیـز مشـکلات کندانس و راه حل رفـع آن‌ها توضیح داده شـده است و در نهایت در فصل ششم ملاحظات طراحی سیستم‌های بخار و کندانس آورده شده است.

خوانـدن این کتاب به تمامی متخصصان مرتبط با حوزه‌های انـرژی و بهره وری صنایع و طراحی عملی سیستم‌های بخار و کندانس پیشنهاد می‌گردد.

علی اکبر مشرفی

کرمان-زمستان ۱۳۹۹

فصل ۱

مقدمه

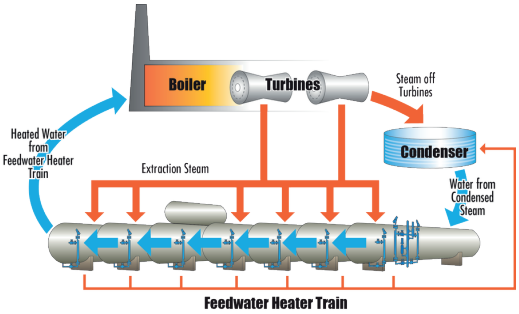
۱–۱– مقدمه

بخار با احتراق سوخت در دیگ بخار نیروگاه تولید می‌شـود. بخار فوق گرم با فشـار کمتـری در توربین ایجاد می‌شود و انرژی مکانیکی چرخش شفت توربین را تولیـد می‌کند، که بـه نوبه خود هنـگام اتصال به ژنراتور برق تولید می‌کنـد. بخار خروجی از توربین به سمت کندانسـور هدایت می‌شود و در آنجا با از دست دادن گرمای تبخیر به سیستم خنک کننده، به کندانس تبدیل می‌شـود. کندانس همچنین از بخشـی از بخار

اســتخراج شــده از توربین حاصل می‌شــود که برای گرم کردن آب تغذیه در مبدل‌های حرارتی[1] اســتفاده می‌شــود، این فرایند را بازیابی انرژی[2] می‌نامند و بازده کارخانه را بهبود می‌بخشد.

کندانــس تولید شــده یا بــه صورت آبشــاری به کندانســور برگردانده می‌شــود و یا اینکه برای از بین بردن گازهای غیرقابل کندانس و گرم شــدن بیشتر به سمت دیریتور[3] پمپ می‌شود. علاوه براین مقدار کمی میعانــات در خطوط لوله بخار بــه دلیل اتلاف حرارت ناشی از تشعشع تشکیل می‌شود.

1. Feedwater Heaters
2. regeneration
3. Deaerator



شکل (۱-۱) فرایند تولید بخار و استفاده از آن در توربین و چرخه بازیابی آن

آب اشـباع با جذب گرمای نهان (آنتالپی یا گرمای تبخیر) در دیگ بخار به بخار اشـباع خشـک تبدیل می‌شـود، و بدلیل آزاد کردن ایـن گرمای بخار به آب اشـباع با دما و فشـار بالا تبدیل می‌شود، که معمولا به عنوان کندانس شـناخته می‌شود. گرمای آزاد شده توسط بخار طی فرایند کندانس، برای گرم کردن مایع ورودی فرایند یا تجهیزات، بسـته به نیـاز مورد نظر، مورد اسـتفاده قرار می‌گیرد. کندانس گرم تولید شده،

آب تصفیه شده دارای گرمای محسوس است؛ زیرا در طی انتقال فاز، دما و فشـار تغییر نمی‌کند و باید برای استفاده مجدد بازیابی شود زیرا تقریبا ۱۰ تا ۳۰ درصد کل گرمـای موجود در بخار زنده را تشـکیل می‌دهد. بنابراین با بازیابی کندانس گرم، نیاز به سـوخت دیگ بخار می‌تواند از ۱۰ به ۲۰ درصد کاهش یابد.

تجمـع کندانس در بخـار و همچنین خطوط لوله کندانس بدون مشکل نیست. وجود کندانس در خطوط لوله بخار باعث ایجاد پدیده ضربه قوچ[1] می‌شود که با ایجاد سـرو صدا و جابه جایـی لوله‌ها مورد توجه قرار میگیرد. پدیده ضربه قوچ باعث کاهش عمر تجهیزات خطوط لوله، ایجاد شکستگی در اتصالات خطوط لوله و اتـلاف بخار زنـده از خطوط لوله بخار می‌شـود. به همین ترتیب کندانس به دلیل اختلاف فشـار به بخار فلش در خطوط لوله کندانس تغییر می‌یابد. بخار فلش منجـر به افزایش سـرعت در خطوط لوله و تشـکیل

1. Water hammer

ابرهای بخار می‌شود که محیط کار را درگیر می‌کند.

بنابرایـــن بهره برداری مناســـب از سیســـتم بخار–کندانـــس برای عملکرد یک نیروگاه بخار بســـیار مهم اســـت زیرا با کاهش نیاز حرارتـــی بویلر، میزان خرابی تجهیزات خط لوله و خطرات زیست محیطی،کارایی و صرفه اقتصادی نیروگاه را افزایش می‌دهد.

مهندســـان نیروگاه بخار معمولا بـــر تامین بخار و گرمای مورد نیاز بـــرای آب تغذیه، برای بهبود کارایی نیـــروگاه و همچنین اطمینان حاصـــل کردن از طریق پرداختن بـــه مشـــکلات مختلف نظیر نشـــت لوله‌ها، تلـــه بخارها و عایق‌بندی تمرکز میکنند. مهندســـان از اهمیت سیستم کندانس چشم پوشی میکنند مگر اینکه مسائل مهمی مانند: ضربه ی قوچ، فشار برگشتی[1] بالا و آســـیب‌های لولـــه‌ای به وجود آید. از ایـــن رو، برای دســـتیابی به بهره‌وری بالاتر، کارایی بیشـــتر انرژی و

1. Back Pressure

اطمینان از قابلیت سایت، طراحی سیستم کندانس باید به طور برابر مورد توجه قرار گیرد.

سیستم‌های بخار-کندانس نیروگاه‌های بخار متشکل از چندین جزء و خطوط لوله مختلف است، که برای طراحی جزئیات آن نیاز به یک تیم مهندسی با تخصص در زمینه‌های مختلف مانند طراحی لوله کشی ، پمپ‌ها ، شیرآلات ، تله‌بخارها، مخازن فلش و ... است. پوشش همه آن ویژگی‌ها در کتاب حاضر آسان نیست. با این حال، در ادامه برخی از مهمترین پارامترهای طراحی و توصیه‌های متخصصان مربوط به طراحی و بهره برداری از سیستم‌های بخا-کندانس ارائه شده است.

فصل ۲

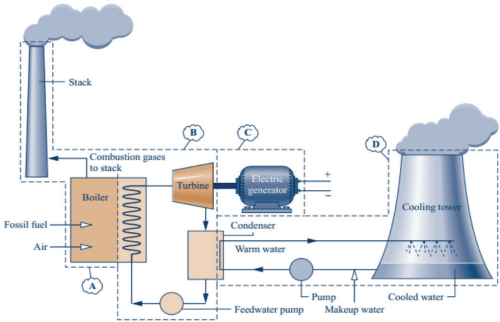
نیروگاه بخار

۲–۱– مقدمه

نیروگاه‌های بخار انرژی گرمایی حاصل از احتراق سوخت را به انرژی مکانیکی چرخش شفت توربین تبدیل می‌کنند. اجزای اصلی نیروگاه بخار سوخت فسیلی در شکل (۲–۱) نشان داده شده است، که به چهار بخش تقسیم شده است که با حروف A تا D مشخص می‌شوند. در بخش A، انرژی برای تبخیر سیال کاری (آب) به بخار تأمین می‌شود که سپس به سمت توربین بخش B هدایت می‌شود. بخار اجازه

می‌یابد تا بـا تولید انرژی مکانیکی به فشـار کمتری در توربین منبسـط شـود. شـفت توربین هنگامی که با یـک ژنراتور الکتریکی (بخش C) همراه می‌شـود، انرژی مکانیکی شـفت توربین را به نیروی الکتریکی تبدیل می‌کند. بخار، پس از انبسـاط از طریق توربین، با از دسـت دادن گرما در کندانسور به کندانس متراکم می‌شود. بخش D مدار آب خنک کننده فراهم می‌کند. آب خنـک کننده (آب گرم) به برج خنک کننده منتقل می‌شـود و در آنجـا گرمای جذب شـده از بخار را به اتمسفر آزاد می‌کند. سپس آب خنک کننده (آب خنک شـده + آب جبرانی[1]) بـرای کندانس شـدن بخار به کندانسور پمپ می‌شود و همچنین بخار کندانس شده نیز برای تولید بخار به دیگ بخار پمپ می‌شود (بخش A) و سیکل تکرار می‌شود.

1. makeup water



شکل (۲-۱) اجزای اصلی نیروگاه بخار سوخت فسیلی

۲-۲- چرخه بخار

سیکل رانکین یک چرخه بخار-مایع است و به عنوان استاندارد نیروگاه‌های بخار پذیرفته شده است. شکل (۲-۲) مراحل یک سیکل ایده آل رانکین را روی نمودار دما-آنتروپی (T-s) نشان می‌دهد. سیکل اشباع رانکین ($1'-2'-3-4$) شرایطی را نشان می‌دهد که هیچ برگشت ناپذیری در چرخه وجود نداشته

باشـد، هیـچ افت فشـار اصطکاکی در دیـگ بخار و کندانسـور وجود نداشته باشـد و فرآیندهای توربین و پمپ ایزنتروپیک (آنتروپی ثابت) باشـد. مراحل سیکل رانکین برای یک سیال کاری عبارتند از:

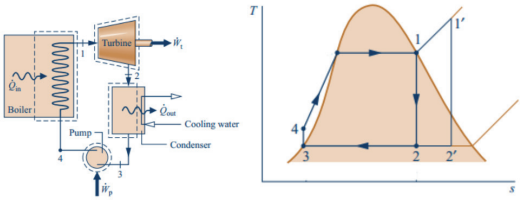
مرحله ۱-۲: سیال کاری بصورت بخار اشباع (بخار اشباع شـده خشک) در حالت '۱ به وسـیله توربین تا رسیدن به فشار کندانسور انبساط می‌یابد.

مرحله ۲-۳: سـیال کاری در فشـار و دمای ثابت کندانسور گرما را از دست می‌دهد و در حالت ۳ به مایع اشباع (آب یا کندانس) تبدیل می‌شود.

مرحله ۲-۳: مایع اشـباع شده در حالت ۳ در پمپ به صورت غیر هم فشـار تا حالت ۴ فشرده می‌شود و فشار سـیال کاری را تا فشـار مورد نیاز بویلر افزایش می‌دهد.

مرحله ۳-۴: سـیال کاری در دیگ بخار با فشـار ثابت تا حالت ۱ (بخار اشـباع خشـک) گرم می‌شود تا

سیکل کامل شود.



شکل (۲-۲) اصل کار و نمودار T-s سیکل ایده آل رانکین

سیکل سوپرهیت[1] رانکین (۱′-۲′-۳-۴) سوپرهیت شدن سیال کاری را نشـــان می‌دهد. سوپرهیت شدن سیال کاری در حالت ۱′ باعث افزایش خروجی نیروگاه و بازدهی بیشتر می‌شود. همچنین برای عملکرد بهتر نیروگاه‌های بخار، از فرایندهای احیا و گرمایش مجدد آب تغذیه[2] اســتفاده می‌شود. روند احیای آب تغذیه در ادامه توضیح داده شده است.

1. superheat
2. Feedwater