اولین کنفرانس بین‌المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع
ایران، تهران، خرداد ۱۳۸۸

کاهش آب جبرانی مورد نیاز در برجهای خنک کن پالایشگاه نفت شیراز با استفاده از چیلرهای جذبی و کولرهای هوایی

وهب کازرونی[۱]، غلامرضا کریمی[۲]، داریوش مولا[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه شیراز؛ v.kazerouni@gmail.com
[۲]استادیار، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه شیراز؛ ghkarimi@shirazu.ac.ir
[۳]استاد، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه شیراز ؛ dmowla@shirazu.ac.ir

چکیده

یک راهکار متداول برای خنک کردن آب مورد نیاز قسمتهای مختلف یک واحد صنعتی استفاده از برجهای خنک کن است. در این مطالعه به مدلسازی برجهای خنک کن پالایشگاه نفت شیراز پرداخته شده است و با توجه به این مدل ریاضی، میزان آب جبرانی در این برجها با فرض عملکرد مناسب برج محاسبه شده است. نتایج این مدلسازی نشان میدهد میزان آب جبرانی این برج با حالت عملکرد مناسب مطابقت دارد لذا برای کاهش میزان مصرف آب باید یک راهکار جایگزین ارایه گردد. در این مطالعه راهکار استفاده از مبدلهای پوسته و لوله ای و چیلر جذبی پیشنهاد گردیده و با توجه به شرایط این واحد صنعتی از میان انواع چیلرهای جذبی، نوع دو اثره مناسب تشخیص داده شده است. این چیلرها انرژی مورد نیاز خود را از بخار تولیدی در مولدهای بخار پالایشگاه دریافت میکنند. در این مطالعه میزان کارآیی مبدل بر ظرفیت سرمایی چیلر مورد نیاز و در نهایت اثر ظرفیت سرمایی چیلر بر میزان آب جبرانی در برج خنک کن مورد نیاز چیلر بررسی گردیده است و میزان صرفه جویی در مصرف آب در مقایسه با حالت کنونی ارائه شده است. راهکار دیگری که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است استفاده از کولرهای هوایی با آرایشهای مختلف(سری، موازی و ترکیبی) با برج خنک است که هر چند آرایش سری و ترکیبی اثر مناسبی در کاهش آب جبرانی مورد نیاز برج دارند اما از نظر مصرف انرژی راهکار چیلرهای جذبی بسیار مطلوب تر میباشد. در نهایت نیز اثر استفاده توام از چیلر جذبی و کولرهای هوایی مورد تحلیل قرارگرفته است.

کلمات کلیدی: برج خنک کن، مدلسازی ریاضی، چیلر جذبی دو اثره، کولر هوایی، صرفه جویی آب

۱- مقدمه

آب بعلت خواص ترمودینامیکی مناسب، در صنایع مختلف نقش تعیین کننده ای را ایفا میکند[۱]. در بسیاری از صنایع آب مورد نیاز بوسیله آب دریا، دریاچه و رودخانه های مجاور خنک میگردد اما در بعضی دیگر(مانند پالایشگاه نفت شیراز) بعلت نبود این منابع، خنک سازی بوسیله برجهای خنک کن صورت میگیرد. در این برجها، هوا از قسمت پایین برج مکیده میشود و از قسمت بالای برج خارج میگردد. آب به قسمت بالای برج پمپ میشود وآنگاه به منظور بیشتر شدن سطح تماس آب با هوا، به درون برج پاشیده میشود. در هنگام سقوط آب بخشی از این آب تبخیر شده و بخش دیگر را خنک میکند و در نتیجه از میزان آب در پایین برج کاسته شده و باید به همین میزان آب جبرانی اضافه گردد. با توجه به میزان بالای آب سرد مورد نیاز در پالایشگاه، به همین نسبت آب جبرانی مورد نیاز نیز قابل اهمیت میباشد. با توجه به اهمیت صرفه جویی در مصرف آب(بخصوص در سالهای اخیر) در این مطالعه راهکارهایی برای کاهش مصرف آب ارائه میگردد.

در این مطالعه ابتدا بوسیله مدلسازی ریاضی، برجهای خنک کن پالایشگاه نفت شیراز آنالیز شده و میزان آب جبرانی مورد نیاز در حالت فعلی با حالت عملکرد مناسب مقایسه گردیده و چنانچه مطابقت مناسبی داشته باشد، این نتیجه حاصل میگردد که عملکرد برج مناسب بوده و چنانچه میزان محسوسی در کاهش مصرف آب را خواستاریم باید در جهت ارائه یک متد جایگزین حرکت کرده وآن متد را بررسی کنیم. مدلسازی ریاضی برجهای خنک کن بر اساس روابط ترمودینامیکی، انتقال انرژی و انتقال جرم صورت میگیرد[۴،۳،۲].

یک راهکار پیشنهادی در این مطالعه، خنک کردن میزان آب مورد نیاز در یک مبدل گرمایی پوسته و لوله ای[۱] و بوسیله آب سرد خروجی از چیلر جذبی[۲] مورد نیاز برای این پروژه میباشد.

در این مطالعه از میان انواع چیلرهای جذبی تک اثره[۳]، دو اثره[۴] و شعله مستقیم[۵]، نوع دو اثره مناسب شرایط پالایشگاه نفت شیراز تشخیص داده شده است. با توجه به در دسترس بودن بخار در دمای مورد نیاز عملکرد چیلرهای تک اثره و دو اثره، استفاده از چیلرهای شعله مستقیم علیرغم بازده مناسب آن توجیه پذیر نمیباشد. بعضی از علل برتری چیلرهای دواثره بر چیلرهای تک اثره، بیشتر بودن ضریب عملکرد(در حدود دو برابر) و کمتر بودن میزان بخار مصرفی(در حدود نصف) در آن در مقایسه با چیلرهای تک اثره است. همچنین تطابق فشار و دمای بخار مورد نیاز چیلرهای دواثره با فشار و دمای بخار تولیدی در مولدهای بخار پالایشگاه از عوامل مهم در انتخاب این نوع چیلر جذبی و ارجحیت آن بر انواع دیگر است. در این

[۱] Shell and Tubes Heat Exchanger
[۲] Absorption Chiller
[۳] Single Effect
[۴] Double Effect
[۵] Direct Fired

Archive of SID
www.SID.ir

مطالعه میزان آب جبرانی در برج خنک کن مورد نیاز چیلر، در دو حالت استفاده از چیلرهای تک اثره و دو اثره مقایسه میگردد.
همچنین در این پژوهش اثر میزان کارآیی مبدل گرمایی مورد استفاده بر ظرفیت سرمایی چیلر و در نهایت اثر آن بر میزان آب مصرفی مورد تحلیل قرار میگیرد.
متدی دیگر که در این مطالعه بعنوان روشی جایگزین مورد تحلیل قرار گرفته است، استفاده از کولر هوایی[۶] (برای خنک کردن آب بوسیله هوا) بصورت سری یا موازی با برج خنک کن و یا ترکیبی از این دو نوع آرایش با هم است. هرچند هزینه ابتدایی این روش در مقایسه با متد استفاده از چیلرهای جذبی کمتر است ولی از لحاظ مصرف انرژی عملکرد چیلرهای جذبی بسیار مطلوب میباشد. در نهایت اثر استفاده همزمان از چیلرهای جذبی و کولرهای هوایی نیز در این مطالعه مورد تحلیل قرار میگیرد.

۲- مدلسازی برجهای خنک کن

در یکی از شرایط عملکرد برجهای خنک کن پالایشگاه نفت شیراز که در این مطالعه مدلسازی شده اند آب با دبی جرمی ۱۲۵۰ کیلوگرم بر ثانیه در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد وارد برجهای خنک کن شده و تا دمای ۲۲ درجه سانتیگراد خنک میشود. دمای خشک هوای ورودی به برج ۲۰ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی آن ۳۲ درصد است. در شکل ۱ نمایی شماتیک از عملکرد برج خنک کن مورد مطالعه نمایش داده شده است.
مدلسازی برج خنک کن بوسیله معادلات اصلی ترمودینامیکی و سایر معادلات کمکی حاکم برآن انجام میشود. رابطه ۱و ۲، موازنه جرم برای هوای خشک و آب را نشان میدهد. در این رابطه، ω بیانگر نسبت رطوبت هوا است.

$$\dot{m}_{\text{air,in}} = \dot{m}_{\text{air,out}} \quad (۱)$$

$$\dot{m}_{\text{water,in}} + \dot{m}_{\text{air,in}}\omega_{\text{air,in}} = \dot{m}_{\text{water,out}} + \dot{m}_{\text{air,out}}\omega_{\text{air,out}} \quad (۲)$$

بنابراین دبی جرمی آب جبرانی از رابطه ۳ محاسبه میگردد.

$$\dot{m}_{\text{make up}} = \dot{m}_{\text{water,in}} - \dot{m}_{\text{water,out}} = \dot{m}_{\text{air,in}}(\omega_{\text{air,out}} - \omega_{\text{air,in}}) \quad (۳)$$

رابطه ۴، موازنه انرژی در برج خنک کن مورد مطالعه را با فرض ناچیز بودن ترمهای پتانسیل و جنبشی نشان میدهد. در این رابطه، h_{air} آنتالپی هوا به ازای یک کیلوگرم هوای خشک و h_{water} آنتالپی مخصوص آب میباشد. با فرض آدیاباتیک بودن میتوان ترم انرژی حرارتی را ناچیز فرض کرد.

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}_{\text{air,out}}h_{\text{air,out}} + \dot{m}_{\text{water,out}}h_{\text{water,out}} - \dot{m}_{\text{air,in}}h_{\text{air,in}} - \dot{m}_{\text{water,in}}h_{\text{water,in}} \quad (۴)$$

کارایی مبدل گرمایی که در آن آب مورد نیاز پالایشگاه بوسیله آب سرد خروجی ازچیلر جذبی خنک میشود از رابطه ۵ محاسبه میگردد.

$\dot{m}_{\text{chilled water}}$ دبی جرمی آبی است که در چیلر خنک شده است و $T_{\text{chilled water}}$ دمای این آب میباشد.

$$\varepsilon = \frac{Q_{HX}}{C_{\min}\Delta T_{\max}} = \frac{\dot{m}_{\text{water,in}}c_{water}(T_{\text{water,in}} - T_{\text{water,out}})}{\dot{m}_{\text{chilled water}}c_{water}(T_{\text{water,in}} - T_{\text{chilled water}})} \quad (۵)$$

این معادلات و معادلات مربوط به چیلرهای جذبی و کولرهای هوایی به روشهای تحلیلی و عددی حل گشته و بر اساس آن نتایج این مطالعه ارائه میگردد.

۳- بحث و نتایج

در حالت عملکرد برج خنک کن در شرایط ذکر شده در بخش قبل، به کمک مدلسازی ریاضی آب جبرانی مورد نیاز به میزان ۲۹/۱۵ کیلوگرم بر ثانیه محاسبه شده است. آب جبرانی مورد نیاز بر اساس داده های میدانی برابر ۲۹/۵۵ کیلوگرم بر ثانیه میباشد که میتوان نتیجه گرفت که عملکرد برج مناسب بوده و کاهش میزان آب جبرانی به میزان مناسب، فقط به به کمک یک روش جایگزین میسر است. یکی از روشهای جایگزینی که در این تحقیق پیشنهاد میگردد سرد کردن آب مورد نیاز پالایشگاه در مبدلهای گرمایی به کمک آب سرد خروجی از چیلرهای جذبی میباشد. همچنین استفاده از کولرهای هوایی با آرایشهای گوناگون با برج خنک کن و در نهایت استفاده توام از کولرهای هوایی و چیلرهای جذبی نیز در این پروژه مورد مطالعه قرار گرفته است.

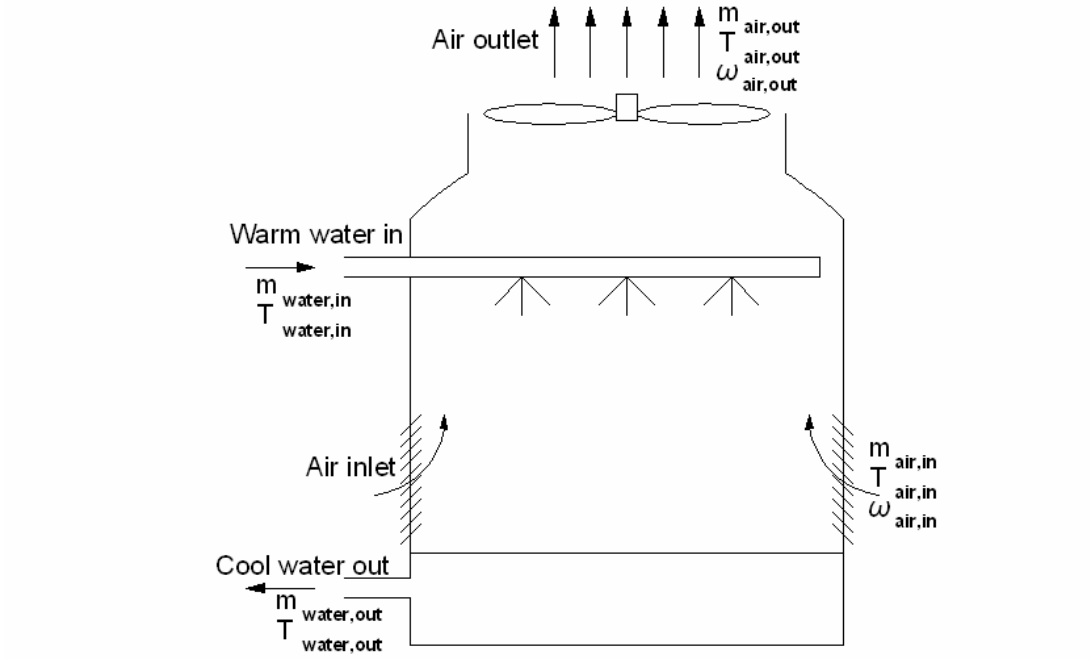
۳-۱- مقایسه چیلرهای تک اثره و دو اثره

با توجه به اینکه چیلرهای تک اثره و دو اثره انرژی مورد نیاز خود را میتوانند از بخار تولیدی در مولد بخار پالایشگاه تامین کنند لذا استفاده از چیلرهای شعله مستقیم از لحاظ صرفه جویی انرژی توجیه پذیر نمیباشد. بنابراین در این بخش در جهت انتخاب نوع مناسب چیلر، انواع تک اثره و دو اثره با هم مقایسه میگردند.
دمای آب ورودی به چیلر برای سرد شدن ۱۲ درجه سانتیگراد و دمای آب سرد خروجی از چیلر ۶ درجه سانتیگراد میباشد. دبی جرمی مورد نیاز این آب سرد برای اینکه دمای ۱۲۵۰ کیلوگرم بر ثانیه آب مورد نیاز این پالایشگاه را از ۳۵ درجه سانتیگراد به ۲۲ درجه سانتیگراد در مبدلهای گرمایی با بازده ۰/۷۵ کاهش دهد، ۷۴۷ کیلوگرم بر ثانیه محاسبه میگردد. با توجه به این دبی جرمی و دمای آب سرد خروجی و ورودی چیلر، ظرفیت سرمایی مورد نیاز ۵۳۳۶ تن تبرید میباشد. در جدول۱، دبی و دما و فشار بخار مورد نیاز و دبی آب خنک کننده کندانسور چیلر و در نهایت میزان آب جبرانی برج خنک کن مورد نیاز چیلر، در دو حالت تک اثره و دو اثره مقایسه گردیده است. این نتایج به خوبی نشان میدهد که نوع دو اثره بر نوع تک اثره چیلر جذبی از لحاظ مصرف انرژی برتری دارد. در شکل۲، نمایی شماتیک از یکی از چیلرهای دو اثره پیشنهادی برای تولید

[۶] Air Cooler

Archive of SID
www.SID.ir

آب مورد نیاز پالایشگاه ارائه گردیده است. بخار مورد نیاز این نوع چیلر باید دارای فشار ۸ اتمسفر و دمای ۱۸۵ درجه سانتیگراد باشد.



شکل ۱: نمایی شماتیک از برج خنک کن مورد مطالعه

بعنوان مایع مبرد عمل مینمایند.

۳-۲- بررسی اثر کارآیی مبدل گرمایی

در شکل۳، اثر کارآیی مبدل گرمایی بر ظرفیت سرمایی چیلر جذبی دواثره مورد نیاز نمایش داده شده است. با افزایش کارآیی مبدلها، ظرفیت سرمایی چیلر کاهش یافته و در نتیجه میزان آب جبرانی در برج خنک کن مورد نیاز چیلر نیز کاهش می یابد. در شکل۴، اثر ظرفیت سرمایی چیلر بر آب جبرانی مورد نیاز برج خنک کن سیستم مشاهده میگردد.

۳-۳- بررسی روش استفاده از کولر هوایی با آرایشهای گوناگون

یک روش دیگر که برای کاهش میزان آب جبرانی مورد نیاز در برجهای خنک کن پالایشگاه نفت شیراز در این پروژه مورد مطالعه قرار گرفته، استفاده از کولرهای هوایی است. در شکل ۵ آرایشهای گوناگون مورد مطالعه نمایش داده شده است. در آرایش سری، آب قبل از ورود به برج خنک کن در کولر هوایی مقداری سرد شده و آنگاه وارد برج میشود. در آرایش موازی قسمتی از آب وارد کولر هوایی شده و قسمت دیگر وارد برج خنک کن میشوند و در نهایت خروجی این دو با هم ترکیب شده و آب در دمای مطلوب را تحویل میدهد. در آرایش ترکیبی، قسمتی از آب قبل از ورود به برج خنک کن در کولر هوایی مقداری سرد میشود و قسمت دیگر مستقیم وارد برج خنک کن میگردد. کولر هوایی که در آرایشهای گوناگون بحث شده در این مطالعه مورد تحلیل قرار میگیرد، در شرایط مورد مطالعه می تواند دمای آب را از ۳۵ درجه سانتیگراد به ۳۱ درجه سانتیگراد کاهش دهد. در حالت آرایش سری میزان آب جبرانی مورد نیاز برج خنک کن، ۱۸/۱کیلوگرم بر ثانیه محاسبه شده است. در وضعیت آرایش ترکیبی مقدار آب جبرانی مورد نیاز برج خنک کن در حالاتی که درصد آب ورودی به کولر هوایی۲۵، ۵۰ و۷۵ درصد از کل آب مورد نیاز باشد، به ترتیب ۲۶/۷۳، ۲۴/۵۰و ۲۲/۲۸ کیلوگرم بر ثانیه است. هرچه درصد آب ورودی به کولرهای هوایی بیشتر شود آب مصرفی در برج کمتر و از طرفی توان الکتریکی مورد نیاز نیز بیشتر میگردد و در حقیقت به حالت آرایش سری نزدیکتر میگردد. میزان آب جبرانی مورد نیاز در حالت آرایش موازی و در حالتی که ۱۲ درصد آب مورد نیاز جهت خنک شدن وارد کولر هوایی شود(بیش از این مقدار بسبب محدودیتهای صنعتی و طراحی برج خنک کن در این نوع آرایش امکانپذیر نمیباشد)، ۲۸/۲۰ کیلوگرم بر ثانیه است که نشان میدهد این آرایش در کاهش آب جبرانی مورد نیاز تاثیر چندانی ندارد. علیرغم اثر مناسب آرایش سری و ترکیبی با توجه به توان مصرفی مورد نیاز این متد در مقایسه با متد چیلر جذبی، استفاده از چیلر جذبی بسیار مناسب تر است.

۳-۴- بررسی استفاده توام از کولر هوایی و چیلر جذبی

متدی دیگر که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است خنک کردن ابتدایی هوا بوسیله کولرهای هوایی و در نهایت خنک کردن خروجی کولرهای هوایی در مبدلهای پوسته و لوله ای به کمک آب در این نوع چیلر محلول لیتیوم بروماید بعنوان جاذب و آب خالص

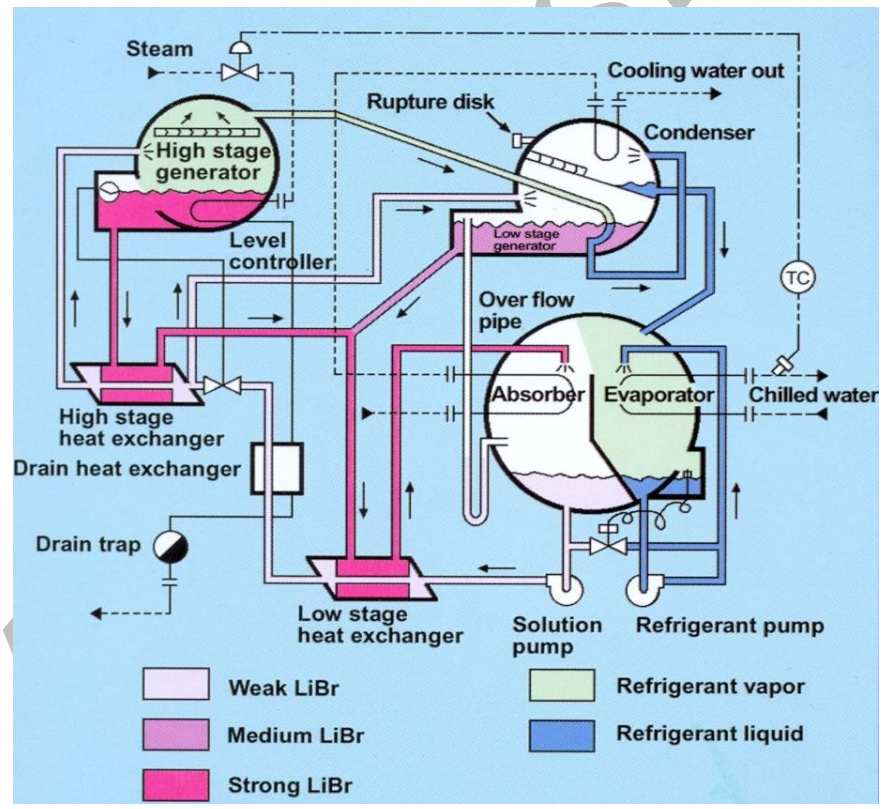
Archive of

www.SID.ir

سرد خروجی چیلر جذبی میباشد. بنابراین مطابق این متد، ابتدا میزان آب مورد نیاز در کولرهای هوایی از ۳۵ درجه سانتیگراد تا ۳۱ درجه سانتیگراد خنک میگردد. برای اینکه این میزان آب در مبدلهای گرمایی با کارآیی ۰/۷۵ تا دمای ۲۲ درجه سانتیگراد خنک شوند نیاز به ۶۰۰ کیلوگرم بر ثانیه آب خروجی از چیلر جذبی با دمای ۶ درجه سانتیگراد است. در نتیجه ظرفیت سرمایی چیلر مورد نیاز،۴۲۸۶ تن تبرید است که میزان آب جبرانی در برج خنک کن مورد نیاز این چیلر، ۱۱/۳۹ کیلوگرم بر ثانیه میباشد. یعنی با استفاده از این روش ترکیبی میزان آب مصرفی مورد نیاز تا ۶۲ درصد کاهش می یابد.

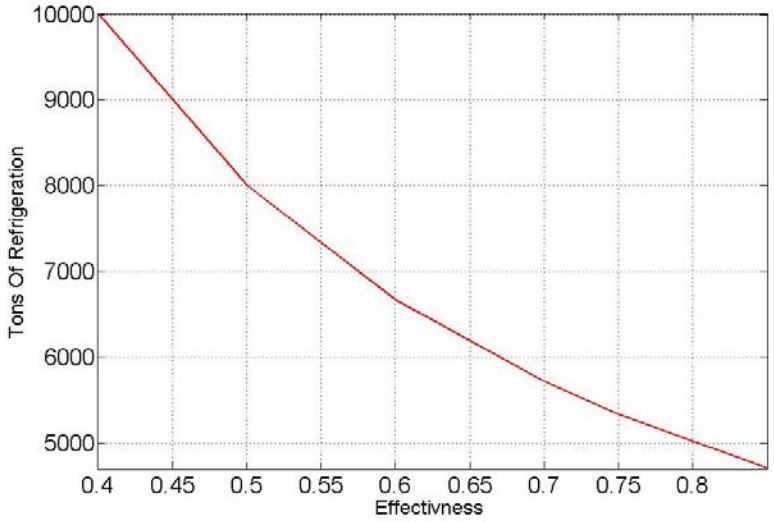
جدول ۱: مقایسه چیلرهای جذبی تک اثره و دو اثره

	چیلر جذبی تک اثره	چیلر جذبی دواثره
دبی بخار مورد نیاز[kg/s]	۱۲/۶۰	۶/۵۲
دمای بخار مورد نیاز[C]	۱۳۰	۱۸۵
فشار بخار مورد نیاز[kPa]	۹۸	۷۸۰
دبی آب خنک کننده کندانسور چیلر[kg/s]	۱۴۴۲/۶۶	۱۴۲۲/۹۲
دبی آب جبرانی در برج خنک کن مورد نیاز چیلر [kg/s]	۱۴/۰۸	۱۴/۰۸

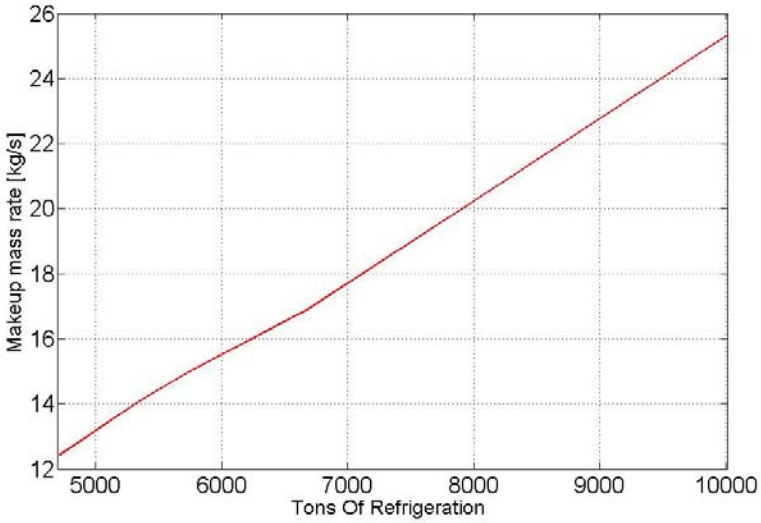


شکل ۲: نمایی شماتیک از یک چیلر دواثره پیشنهادی برای این پروژه

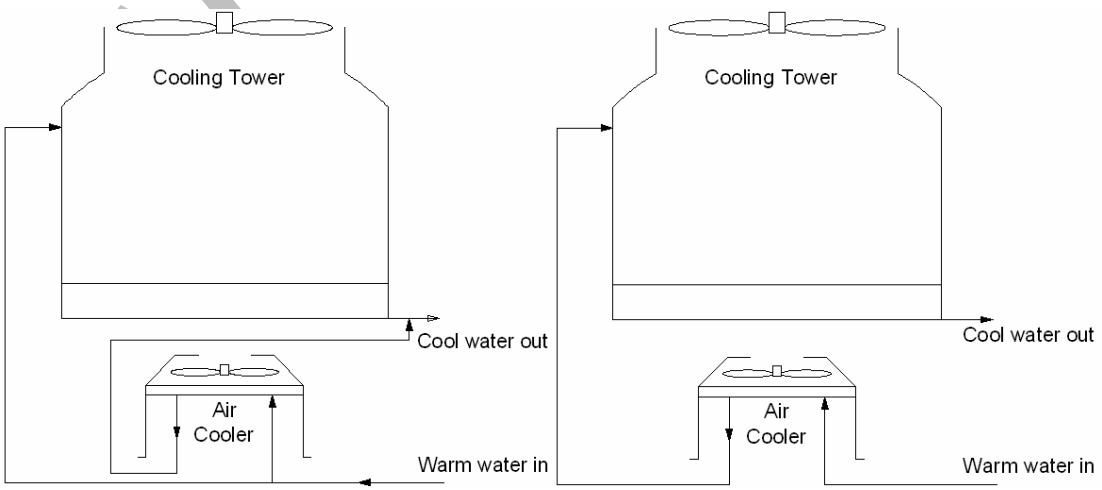
www.SID.ir



شکل ۳: اثر کارآیی مبدل گرمایی بر ظرفیت سرمایی چیلر مورد نیاز



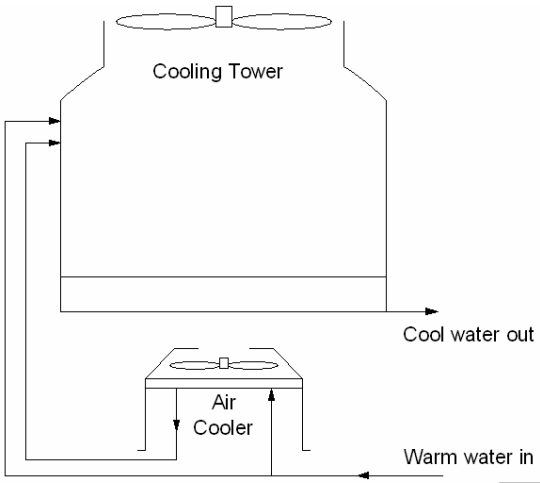
شکل ۴: اثر ظرفیت سرمایی چیلر بر آب جبرانی مورد نیاز برج خنک کن چیلر



ب)آرایش موازی

الف) آرایش سری

www.SID.ir



ج) آرایش ترکیبی

شکل ۵: کولر هوایی و برج خنک کن با آرایشهای مختلف

۴- نتیجه گیری

با توجه به اهمیت صرفه جویی در مصرف آب، در این مطالعه راهکارهای کاهش آب جبرانی مورد نیاز برجهای خنک کن پالایشگاه نفت شیراز مورد مطالعه قرار گرفته است. مطابق نتایج مدلسازی انجام گرفته در این برجهای خنک کن، میزان آب جبرانی در حال حاضر این برجها مطابق با عملکرد مناسب و طراحی برج میباشد و لذا برای کاهش آب مورد نیاز باید به دنبال راهکارهای جایگزین بود. در این مطالعه راهکار سرد کردن میزان آب مورد نیاز در مبدلهای پوسته و لوله ای به کمک آب سرد خروجی از چیلرهای جذبی مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج این مطالعه نشان میدهد که این متد پیشنهادی میتواند میزان مصرف آب را تا ۵۳ درصد کاهش دهد. همچنین نتایج این مطالعه نشان میدهد از میان انواع مختلف چیلرهای جذبی، چیلرهای دواثره با توجه به شرایط پالایشگاه نفت شیراز، مزیتهای بیشتری را دارند. در این مطالعه نشان داده شده است که هر چه کارآیی مبدلهای گرمایی بیشتر باشد، ظرفیت سرمایی چیلر جذبی مورد نیاز کمتر شده و در نتیجه میزان آب جبرانی در برج خنک کن مورد نیاز عملکرد چیلر کمتر میگردد.

راهکار دیگر پیشنهادی در این مطالعه، استفاده از کولرهای هوایی در آرایشهای مختلف با برجهای خنک کن است. نتایج این مطالعه نشان میدهد که استفاده از آرایش سری، میزان آب جبرانی مورد نیاز برجهای خنک کن مورد مطالعه را تا ۳۹ درصد کاهش میدهد. آرایش ترکیبی نیز هرچه به آرایش سری نزدیک تر گردد آب جبرانی مورد نیاز برج خنک کن کاهش و انرژی الکتریکی مورد نیاز نیز افزایش می یابد. علیرغم کاهش مناسب میزان آب جبرانی با استفاده از کولرهای هوایی اما با توجه به اینکه چیلرهای جذبی انرژی مورد نیاز خود را از بخارهای تولیدی در پالایشگاه میگیرند از لحاظ صرفه جویی انرژی بسیار مقرون بصرفه هستند.

در نهایت در این مطالعه نشان داده شد که استفاده توام از کولرهای هوایی و چیلر جذبی میزان آب جبرانی مورد نیاز را تا حدود ۶۲ درصد کاهش میدهد.

تشکر و قدردانی

با سپاس از اداره پژوهش و توسعه و واحد آب، برق و بخار پالایشگاه نفت شیراز که با حمایتهای معنوی و مالی خود ما را در انجام این پروژه یاری نمودند.

فهرست علائم

c	گرمای مخصوص جریان[kJ/kg K]
h	آنتالپی مخصوص [kJ/kg]
$\dot{m}$	دبی جرمی [kg/s]
$\dot{Q}$	نرخ انتقال انرژی گرمایی [kW]
T	دما [K]
$\dot{W}$	نرخ کار مصرفی [kW]

علائم یونانی

ε	کارآیی مبدل گرمایی
ω	نسبت رطوبت هوا

زیرنویس

air	هوا
chilled water	آب خنک شده خروجی از چیلر
in	جریان ورودی
out	جریان خروجی
water	آب

مراجع

[1]-Stefanović, V., Laković, S., Radojković, N. , Ilić, G. , ‘‘Experimental Study on Heat and Mass Transfer in Cooling Towers,’’ The scientific journal Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering, Vol. 1, No. 7, pp. 849-861, 2000.

[2]- Majumdar, A. K., Singhal, A. K., Spalding, D. B., ‘‘Numerical Modeling of Wet Cooling Towers, Part 1:

Archive of SID

www.SID.ir

Mathematical and Physical Models ,'' ASME J. of Heat Transfer, Vol. 105, pp. 728-735, 1983.
[3]-Majumdar, A. K., Singhal, A. K., Reilly, H. E., Bartz, J. A. , ''Numerical Modeling of Wet Cooling Towers, Part 2: Application to Natural and Mechanical Draft Towers, ''ASME J. of Heat Transfer, Vol. 105, pp. 736-743, 1983.
[4]-Benton, D. J., Waldrop, W. R. , '' Computer Simulation of Transport Phenomena in Evaporative Cooling Towers, '' ASME J. Enf. for Gas Turbines and Power, Vol. 110, pp. 190-196, 1988.

Archive of SID

www.SID.ir