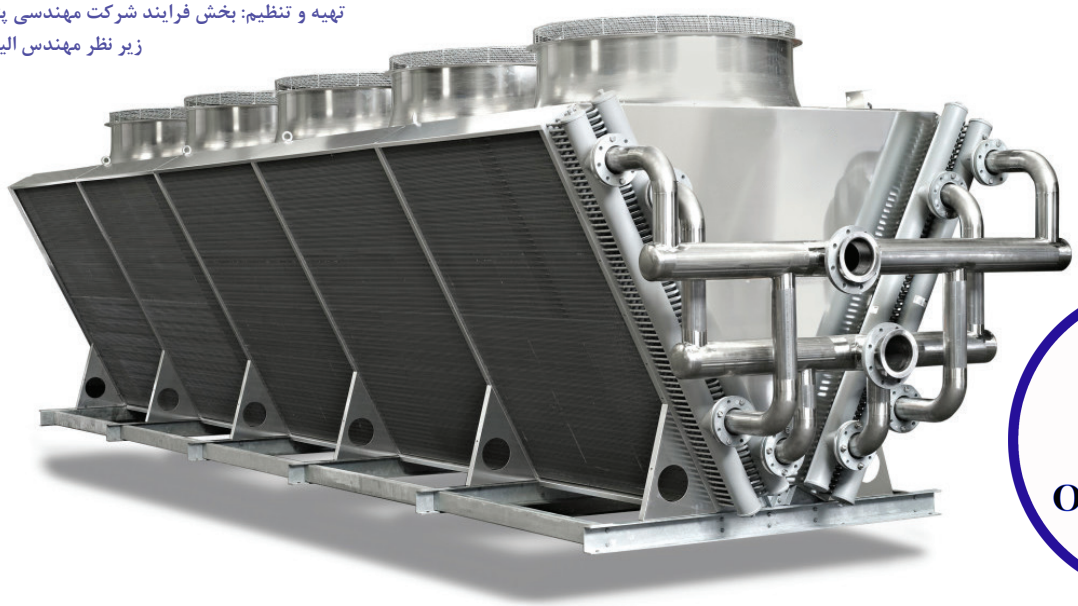
برج خنک کننده آدیاباتیک

روشی جدید برای خنک‌سازی در مناطق کم آب

قسمت اول: آشنایی با برج های خنک کننده

تهیه و تنظیم: بخش فرایند شرکت مهندسی پتروتدبیرپارس،
زیر نظر مهندس الیاس خورشیدی



اویل ایندستری
Oilindustry.ir
CLICK HERE

۱ اهمیت بحث سیستم های خنک‌کننده در صنایع نفت گاز پتروشیمی

سیستم‌های خنک کننده براساس اصول ترمودینامیکی می‌باشند و برای ارتقا تبادل حرارت غیر بازیافت میان واحدهای فرایندی ومحیط طراحی می شوند. سیستم‌های خنک کننده را می توان به صورت استفاده از آب،هوا ویا ترکیبی از آن دسته‌بندی نمود. تبادل حرارتی میان ماده فرایندی و سیال خنک کننده توسط مبدل حرارتی انجام می‌شود وازطریق مبدل‌های حرارتی گرمای جذب شده به محیط منتقل می‌یابند. در سیستم‌های باز سیال خنک‌کننده در تماس مستقیم با محیط است ولی در سیستم‌های بسته سیال خنک کننده در گردش بوده و در تماس با محیط نمی‌باشد. سیستم‌های خنک‌کننده رایج درواحدهای فرایندی در کشور ایران به صورت باز بوده که با توجه به مصرف پیوسته واز طرفی محدودیت منابع تامین آب به دلیل خشک سالی هایی که صنایع را تهدید می کند. در این مقاله انتخاب سیستم‌های خنک کننده جایگزین که بتواند نیازهای صنعت را تامین کند. از طرفی حداقل مصرف آب را داشته باشد بررسی می‌شود و مزایا و معایب هر کدام به تفضیل بحث و نتیجه گیری خواهد شد.

۲ مقایسه‌ای بین برج خنک‌کننده و کولرهوایی

مزایای برج خنک کننده:

۱» استفاده از پدیده تبخیر آب برای سرمایش و در نتیجه کاهش مصرف برق

۲»کوچک شدن مبدل های حرارتی به دلیل افزایش تفاوت دمایی بین سیال گرم و سیال خنک کننده (آب) و همچنین گرمای ویژه زیاد آب

۳» امکان خنک سازی در دماهای پایین تر که مورد نیاز بعضی از فرآیندها می باشد.

۴»کوچکترشدن سیستم سیرکولاسیون سیال خنک کننده شامل خطوط لوله و سیستم پایپینگ به دلیل کوچکتر بودن دبی سیرکولاسیون آب در مقایسه با هوا به دلیل خواص حرارتی بهتر آب و ضریب انتقال حرارت بالاتر

مزایای کولرهای هوایی:

۱» حذف آلودگی گرمایی و شیمیایی منابع آبی

۲»کاهش هزینه نگهداری مبدل ها به دلیل عدم رسوب گیری بخش خنک کننده

۳»کاهش هزینه تصفیه آب و حذف مشکلات ناشی از یخ زدگی آب

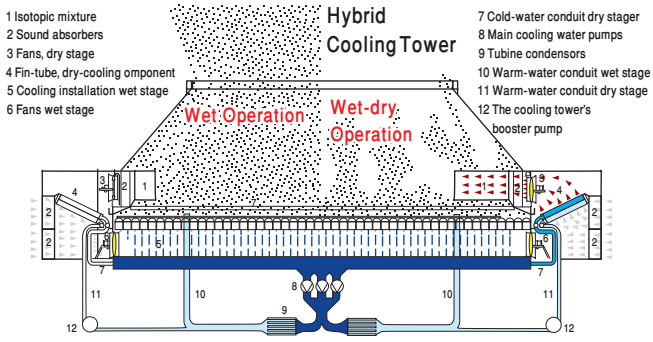
۴» عدم محدودیت در انتخاب مکان کارخانه به دلیل امکان ساختن کارخانه دور از منابع آبی

۳ معرفی سه مدل برج خنک کننده

سیستم‌های خنک کننده‌ی تر / خشک

۱) برج‌های خنک کننده‌ی تر / خشک (ترکیبی) باز

برج خنک کننده‌ی تر / خشک باز یا برج خنک کننده‌ی ترکیبی نوعی خاص از برج‌های خنک کننده است که به عنوان راه حلی مهم برای مشکل مصرف آب خنک کننده توسعه یافته است.این برج ترکیبی از برج‌های تر و خشک و به بیان دیگر با دو فرآیند تبخیری و غیر تبخیری کار می کند. بسته به دمای هوای محیط،



شکل ۱ : نمایی شماتیک از اجزای برج خنک‌کننده‌ی ترکیبی

برج خنک کننده‌ی ترکیبی می تواند به عنوان برج خنک کننده‌ی کاملا تر و یا ترکیبی از تر/خشک عمل نماید.آب خنک کننده‌ی گرم ابتدا از قسمت خشک برج خنک کننده گذر می کند که بخشی از شار گرمایی به وسیله‌ی جریان هوا کم گردد، جریان هوا معمولا به وسیله‌ی یک **fan** مکش می گردد. بعد از عبور از قسمت خشک، آب در قسمت تر برج بیشتر خنک‌سازی می گردد ، این قسمت مشابه برج باز گرداننده‌ی باز عمل می‌نماید. هوای گرم از قسمت خشک با بخار آب تشکیل شده در قسمت تر در بالای برج مخلوط می گردد و در نتیجه باعث کاهش رطوبت نسبی بالای برج قبل از خروج هوا می گردد و به طور قطع کاملا تشکیل مه را در بالای برج کم خواهد نمود. بهینه‌سازی اثر برج خنک کننده‌ی ترکیبی به معنی بهینه‌سازی گرمای انتقال یافته‌ی خشک برای کنترل نیازمندی‌های کاهش مه می‌باشد. همچنین قسمت تر برای بخش اصلی خنک‌سازی استفاده می گردد.

مشخصات برج ترکیبی باز به قرار زیر است:

» بار ثابت و نسبی عملیاتی برای تمام ظرفیت‌ها

» سیال خنک کننده فقط آب می‌باشد

» عملکرد حرارتی یکسان با برج خنک کنندی باز

»کاهش نیاز به آب **make-up**

» همخوانی با حفاظت از محیط زیست به عنوان مثال کاهش طول برج(به کمک فن)

» تجهیزات کاهش صدا برای تنظیم میزان صدای نا مطلوب

۲) برج‌های خنک کننده‌ی ترکیبی با سیکل بسته

مشخصات سیستم‌های ترکیبی با سیکل بسته می توانند به شکل مشابهی با سیستم‌های خنک کننده‌ی باز گرداننده‌ی بسته‌ی تر با **Fan** معرفی گردند. به طور کلی، این واحدها به فضای کمی نیاز دارند. سه نوع تخصصی برای سیستم‌های ترکیبی با سیکل بسته استفاده می گردد:**Sprayed fin coil, adiabatic cooling , combined systems**

Sprayed (finned) coils(۲.۱

در برج خنک کننده با سیکل بسته سیال فرآیندی مابین المان‌های خنک کننده در یک سیکل بسته عبور می‌نماید (صفحه/ لوله یا کویل)، و این قسمت ابتدایی سیکل خنک‌سازی می‌باشد. این المان‌های خنک‌ساز با آب خنک کننده‌ی ثانویه خیس گردیده و همزمان برای استفاده از گرمای تبخیر هوا از روی سطح خیس شده عبور میکند.آب خنک کننده که از المان‌ها خارج می گردد را می توان در حوضچه ای جمع آوری نموده و مجددا خنک‌سازی انجام داد. این عمل بعضی از مواقع با سیال ثانوی جدید یا با **Blow done** همان آب انجام می گردد. در ساختار غیر همسو ، سیالی که در سیکل ابتدایی خنک می گردد سیال فرآیندی نمی‌باشد بلکه برای خنک‌سازی سیال فرآیندی در مبدل دیگری استفاده می گردد.

۲.۲)کولرهای آدیاباتیک، خنک‌سازی اولیه‌ی هوا برای خنک‌سازی کویل‌ها

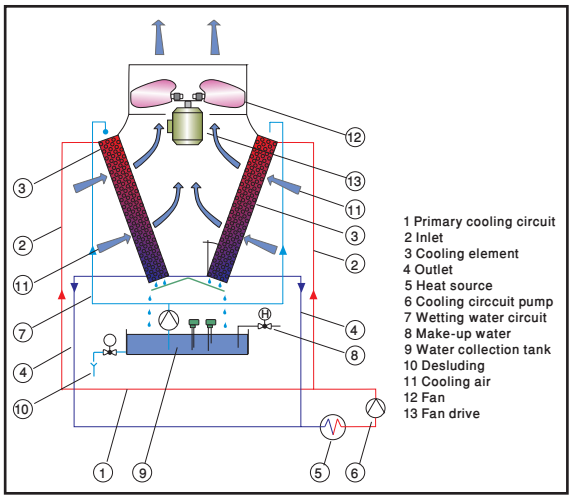
در مدل آدیاباتیک سیالی که باید خنک گردد از درون کویل ها عبور می‌نماید.آب خنک کننده

نمایی از یک خنک‌کننده

از روی سطح خیس چکه کرده و هوای عبوری از روی سطح حداکثر رطوبتی که می تواند جذب می کند. هوای خیس از روی کویل ها عبور کرده و گرمای بیشتری نسبت به هوای خشک می کاهد.در مقایسه با دستگاه سیستم تبخیری سنتی مصرف آب کاهش چشم گیری خواهد داشت.

۲.۳) نظریه‌ی ترکیبی

در فن آوری ترکیبی **finned coils , sprayed prime surface coil , wet deck** همه استفاده می گردند.در حالت خشک می توان تمام اسپری‌های آب را بست و سیال را هم در **finned coils** و هم در **prime surface coils** با هوا خنک‌سازی نمود.در حالت تر/خشک سیال قبل از آنکه به فرآیند بازگردانده شود، برای خنک گردیدن ، بعد از عبور از کویل‌های خشک از **sprayed prime surface coils** عبور می کند. آب گرم از **we deck surface** به پایین می چکد. هوا از روی **prime surface coil** و **wet deck surface** عبور کرده و اشباع می گردد.و با عبور هوای تر از روی **finned coil** گرمای بیشتری گرفته می‌شود.



شکل ۲ : نمایش شماتیک اجزای برج خنک‌کننده‌ی ترکیبی با سیکل بسته

۴ اهمیت طراحی و سایز کردن برج خنک کننده

هنگامی که آب از حالت مایع به بخار تغییر حالت می‌دهد، یک دریافت انرژی می‌بایست صورت گیرد که به عنوان گرمای نهان تبخیر شناخته می‌شود. چنین گرمایی می تواند از سوخت مورد استفاده در بویلر تأمین گردد و یا از محیط گرفته شود. برج‌های آب خنک کننده از مزیت این تغییر حالت با ایجاد شرایطی که آب گرم در حضور هوای در حال حرکت تبخیر می گردد، استفاده می کنند. اصول چنین فرآیندی بسیار ساده است ولی رویه‌های انتقال حرارت پیچیده‌ای دارد. معیارهای پایه‌ای در طراحی و ساخت برج‌های آب خنک کننده به صورت زیر می‌باشد[۱]:

۱» دستیابی به حداکثر تماس بین هوا و آب در برج توسط طراحی بهینه سیستم توزیع کننده آب و بستر سیال برج.

۲» فراهم نمودن جریان هوا با بکارگیری فن‌ها

۳» به حداقل رساندن اتلاف‌های به وجود آمده توسط پاشش آب که موجب خارج شدن آب از برج می گردد. کنترل اتلاف پاشش آب همچنین اهمیت بسزایی در پایین آوردن ریسک انتقال بیماری‌های واگیردار که توسط هوای گرم مرطوب می تواند انتقال یابد، دارد.

۴» برقراری ارتباط بین طراحی برج با سرعت جریان حجمی آبی که باید سرد گردد و سه دمای حائز اهمیت که شامل دمای حباب تر محیط، دمای هوای گرم ورودی و دمای آب سردشده خروجی می‌باشد.

۵» اطمینـان از اینکـه مسـائل مربوط به کیفیـت آب مورد اسـتفاده مانند خوردگی، رسوب‌دهی و رشد باکتری به درستی مورد مطالعه قرار گرفته باشند و کنترل گردند.

۶» توجـه بـه محدودیت‌های مکانـی موقعیت برج و درنظـر گرفتن اینکه صدای نویز حاصل شـده از برج ممکن است باعث اذیت افرادی گردد که در حومه برج زندگی می کنند و یا محل کار آنها می‌باشد.

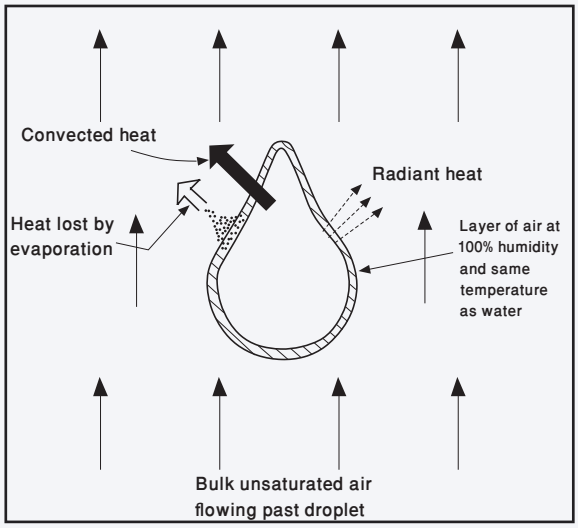
دیدگاه تئوری نمودار سـایکومتری و انتقـال حرارت، فرآیندهای فیزیکی، معادلات پایه و محاسبات مربوط به برج‌های خنک کننده را پوشش می‌دهد. در این مرحله، مکانیزم‌هایی که باعث خنک شدن آب می گردند با توجه به شکل(۳) قابل درک می‌باشند که در این شکل یک قطره ساده آب در برج توصیف گردیده اسـت. قطره توسط فیلم نازکی از هوا احاطه گردیده است که اشـباع شـده و با عبور جریان هوا بدون تغییر باقی می‌ماند. در این حالت انتقال حرارت می تواند از سه طریق به شرح ذیل انجام گیرد[۱]:

۱» توسـط انتقال حرارت تشعشعی از سطح قطره آب. این مورد سهم کمی از مقدار کل انتقال حرارت را دارد و به طور معمول صرف نظر می گردد.

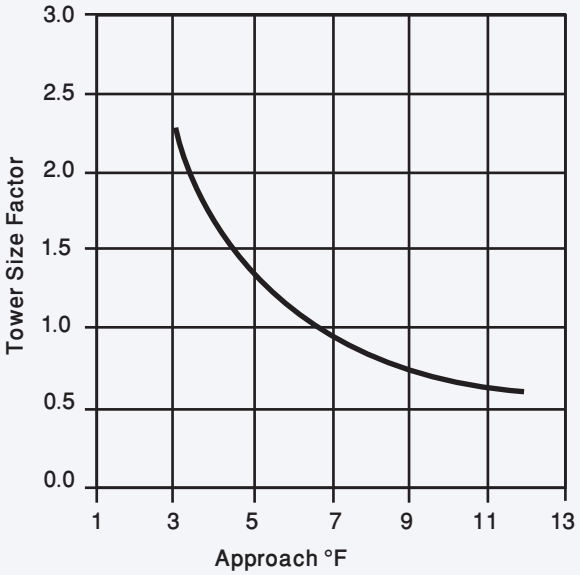
۲» توسـط انتقال حرارت هدایتی و جابجایی بیـن قطره آب و هوا. مقدار حـرارت انتقال یافته به دماهای هوا و آب وابسـته خواهد بود. این مورد سهم قابل توجهی از کل حرارت را به خود اختصاص می‌دهد و بزرگی آن می تواند بیشتر از یک چهارم تا یک سوم باشد.

۳» توسـط عملیات تبخیر. ترم اصلـی در انتقال حرارت این فرآیند عملیات تبخیر می‌باشـد و دلیلی برای نام گذاری چنین فرآیندی می‌باشـد که به عنوان سردکننده تبخیری شناخته می شود.

تبخیـر یـک پارامتـر کلیـدی در موفقیت‌آمیز بـودن عملیـات برج‌های خنک کننده می‌باشـد و در زمانی کـه هوا و آب در تماس با یکدیگر قرار می گیرند اتفاق می‌افتد که چنین عملی در اثر اختلاف فشـار بخار آب بین سـطح قطره آب و هوا، رخ می‌دهد.این فشـار بخـار تابعی از دمای آب و میزان اشـباع شدگی هوا می‌باشد. در تبخیر، حرارت جریان آب عبوری از برج به هوای محیط برگشت داده می‌شود و این امر باعث خنک شدن آب می گردد. تبخیر در حقیقت فرآیندی اسـت که طی آن حرارت توسط هوا جذب می گـردد و آب باقی‌مانده تا دمای موردنظر سـرد می گردد.دمای حبـاب تـر هوای ورودی تأثیـر بسـزایی در فرآیند تبخیر و بـه طور کلی برج‌های خنک کننده دارد. یک تغییر در دمای هوای حباب تر باعث تغییر



شکل ۳: نمایش شماتیک اجزای برج خنک‌کننده‌ی ترکیبی با سیکل بسته



شکل ۴: نموداری از تأثیر Approach برروی فاکتور اندازه برج آب خنک کننده[۲]

در دمـای **Approach** می گـردد. در شـکل (۴) تأثیر تغییـر در **Approach** برج برروی طراحی برج آب خنک کننده نشـان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود، تغییر کمی در دمای **Approach** موردنظر، باعث تغییر بسیار زیادی در مشخصه‌های برج خنک کننده می گردد[۲][۱].

انتخاب یک برج خنک کننده و تعیین مشخصه‌های آن توسط پارامترهای مختلفی انجام می گیرد. پارامترهایی که برروی کارایی برج‌های خنک کننده تأثیرگذار هستند به صورت زیر می توانند در نظر گرفته شوند[۲][۱]:

۱» دامنه خنک کردن

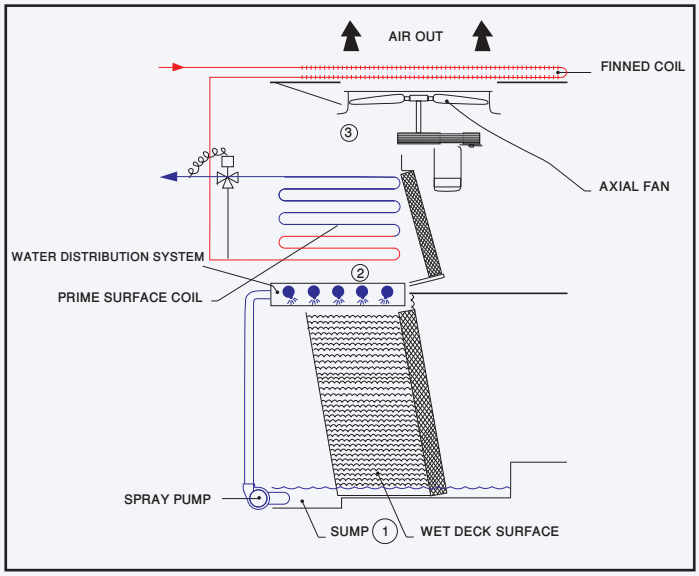
۲» دمای **Approach**

۳» دمای حباب تر هوای محیط

۴» جریان آبی که باید خنک گردد (یا سرعت گردش)

۵» میزان سرعتی که هوا از روی آب عبور می کند

۶» میزان دما



شکل ۴: برج خنک کننده هیبریدی.

۷» در صورت استفاده از بستر سیال ، ضریب کارایی بستری که مورد استفاده قرار می گیرد.

۸» حجم بستر سیال

در موارد اشاره شده در بالا، مورد ۶ از موارد مهمی می‌باشد چراکه میزان سرد کردن بیشتر آب در دماهای بالاتری از هوا امکان‌پذیر می‌باشد. در این حالت، حرارت کل یا آنتالپی هوای اشباع شده به صورت نمایی با افزایش دمای هوا، افزایش پیدا می کند.

مورد ۷ وابسته به چگونگی طراحی بستر سیال می‌باشد که به طور کارآمد طراحی شده باشد و از حجم بستر سیال (مورد ۸) که به طور مستقیم برروی کارایی برج تأثیر می گذارد، تبعیت می کند[۱].

۵ پارامتر های صنعتی مهم برای طراحی برج خنک کننده

برای طراحی برج های خنک کننده، پارامترهای زیادی را باید در نظر گرفت. با توجه به مطالبی که تا به حال بیان شده است، میتوان دریافت که مهمترین عوامل تاثیرگذار در برج های خنک کننده ویژگی های هواست. رطوبت نسبی و دمای هوا مهمترین ویژگی های تاثیرگذار هوا در برج های خنک کننده هستند. به طور کلی پارامترهای تعیین کننده در طراحی برج خنک کننده شکل ۵ به شرح زیر است.

۱» دمای هوای ورودی به برج خنک کننده(T۱): هرچه هوای ورودی به برج گرم تر باشد برای رسیدن به حالت اشباع در منحنی سایکومتریک (در حالت آدیاباتیک) میزان آب بیشتری مصرف می شود (آب بیشتری تبخیر می شود).

۲» رطوبت نسبی هوای ورودی به برج (H۱): اگر رطوبت هوای ورودی به برج بالا باشد امکان اختلال در کارکرد برج می رود. زیرا ممکن است که هوا در نقطه ۲ به دمای مورد نظر نرسد و گرمتر باشد. این پدیده از روی منحنی سایکومتریک به راحتی قابل مشاهده است. همچنین هرچه هوای ورودی به برج دارای رطوبت بیشتری باشد، میزان هوای لازم و به دنبال آن توان مورد نیاز فن ها بیشتر می شود. علت این پیامد ظرفیت پایین هوای پر رطوبت برای جذب آب و رسیدن به حالت اشباع است.

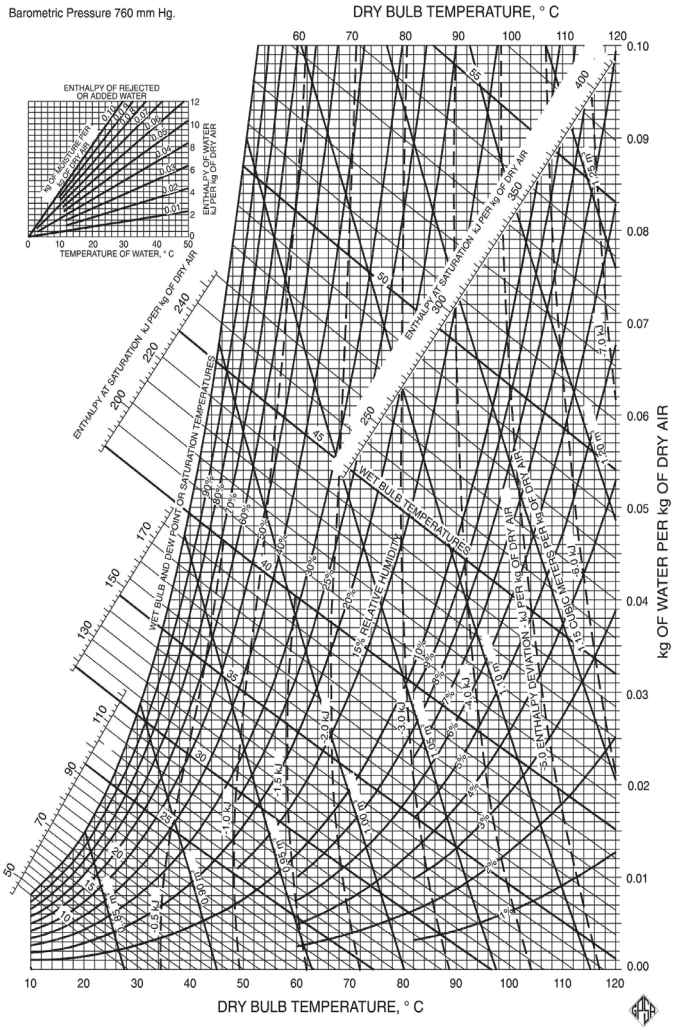
۳» دمای هوا پس از خروج از قسمت خیس (T۲): معمولا این دما بر اساس میزان کلی هوای منطقه ثابت می شود. همچنین باید یک اختلاف دمای در حدود ۸ درجه سانتیگراد را نیز بین هوا و آب خنک شونده (موجود در لوله) در نظر گرفت.این دما معمولا حالت اشباع هوای ورودی به برج است که باید یک مقدار ثابت در نظر گرفته شود.

۴» رطوبت هوا پس از خروج از قسمت خیس (H۲): در ناحیه هوا در حالت اشباع یا رطوبت ۱۰۰٪ قرار دارد. اما به دلیل برخی از مشکلات رطوبت در این ناحیه می تواند تا ۹۰٪ نیز در نظر گرفته شود.

۵» دمای هوای خروجی از برج (T۳): هوای خروجی از برج باید با لوله آب خنک شونده مجاور خود یک اختلاف دمای در حدود ۸ درجه سانتیگراد داشته باشد.

۶» میزان سرد سازی آب خنک شونده: هرچه این میزان بیشتر باشد و آب خنکتر بشود میزان هوای و آب مورد نیاز برای خنک سازی بیشتر می شود.

یک برج خنک کننده بر اساس پارامترهای بیان شده طراحی می شود. برای مثال ابعاد برج خنک کننده (طول و قطر هر قسمت) و میزان مصرف آب و برق آن بر اساس پارامترهای بیان شده به دست می آید. البته برای طراحی یک برج پارامترهای دیگری مانند جنس و شکل قطعات را نیز باید در نظر گرفت.



شکل ۶ : منحنی سایکومتریک برگرفته از: GPSA Electronic Data Book, Edition

۶ معرفی منحنی سایکومتریک

نمودار سایکومتریک ابزار مناسبی برای تحلیل برج های خنک کننده می‌باشد (شکل ۶). این نمودار حاوی اطلاعات موازنه جرم و انرژی برای سیستم آب و هوا و همچنین محاسبه دمای خشک و مرطوب می‌باشد. اساس طراحی سیستم‌های سرمایش تبخیری بر دمای مرطوب هوا استوار می باشد. در این نوع سیستم‌ها دمای آب حداکثر می تواند تا دمای هوای مرطوب هوا کاهش یابد. برای پیدا کردن دمای هوای مرطوب هوا روی منحنی سایکومتریک ابتدا نقطه ی اولیه را که تلاقی دمای هوای خشک روی محور افقی و میزان درصد رطوبت نسبی روی منحنی های مورب است مشخص می سازیم. سپس روی خط آنتالپی ثابت حرکت میکنیم تا به رطوبت ٪۱۰۰ برسیم و دمای مربوط به رطوبت ٪۱۰۰ را روی محور افقی می خوانیم. به عنوان مثال همان طور که در شکل نشان داده شده اگر فرض کنیم دمای هوای ورودی ۵۰ درجه سلسیوس و میزان رطوبت نسبی ٪۲۵ باشد آنگاه دمای هوای مرطوب ۳۰ درجه سلسیوس می باشد.

مراجع:

1. Hill, G.B., Pring, E.J. and Osborn, P.D. Cooling Towers Principles and Practice. 3rd. London : Butterworth-Heinemann Ltd., 1990.
2. III, H. W. Stanford. HVAC Water Chillers and Cooling Towers, Fundamentals, Application and Operation. New York : Marcel Dekker, Inc., 2003.