

سرماشیش تبخیری

مهندس مذک صدری افشار
msadriafshar@yahoo.com

تهویه مطبوع تبخیری موضوع چند سال تحقیق، کار و تجربه گستردگ مولف و همکارانش می‌باشد که تا جال منجر به اختراع دو سیستم تهویه مطبوع تبخیری جدید و ثبت آنها شده است. علیرغم آن که بسیاری در ایران این نوع سیستم‌ها را عنوان تنها «سرماشیش» و نه «تهویه مطبوع» قبول دارند، اما بسیاری از مهندسان، سازمان‌های دولتی و غیر دولتی مربوط به انرژی و تاسیسات، محققان و مؤلفان کتب و مقالات، و استادان دانشگاه‌های معابر در امریکا، استرالیا، نیوزیلند، کانادا، هند، پاکستان، مصر، عربستان، هنگ‌کنگ، سنگاپور و بالآخره ایران آن را یک نوع تهویه مطبوع می‌دانند و موضوع تحقیقات، کار و تولید این سیستم‌ها و توصیه موکد سازمان‌های صرفه جویی در انرژی در این کشورهاست.

در رشته مقاله‌هایی که با عنوان «تهویه مطبوع تبخیری» در ماهنامه تهویه مطبوع منتشرمی‌شود، سعی می‌گردد ابهامات و عدم اطلاع در این زمینه رفع و خوانندگان با مبانی نظری و عملی و پیشرفت‌های زیادی که در این مبحث در ایران و جهان انجام شده است آشنای گردند. قابل توجه است که تدوین و اجرای استانداردهای مربوط به کولرهای آبی در ایران قبل از امریکا و تدوین و اجرای استاندارد صرفه جویی در مصرف انرژی برای کولرهای آبی در ایران قبل از همه کشورها به انجام رسیده است. مراجع و منابع برای استفاده خوانندگان در آخرین مقاله ارائه خواهد شد.

جرم در اینجا با یکدیگر تعامل کرده زیرا عمل تبخیر نیاز به جذب گرما دارد و عمل تقطیر نیاز به گرمگاری، بنابراین تبادلات گرما و بخار تا وقتی که دمایها و فشارهای بخار یکسان نشده باشد، ادامه خواهد داشت.

تماس آزاد و طولانی بین آب و هوای اشباع نشده معمولاً منجر به این می‌گردد که هوا در دمای تعادلی اشباع شده و اشباع باقی بماند. بنابراین، در حالت تعادلی، هوا اشباع است. وزن بخار آب هوای اشباع با دما تغییر می‌کند و هرچه هوا گرمتر باشد، رطوبت بیشتری برای اشباع کردن آن نیاز دارد.

گرمای محسوس و نهان

جریان گرمایی که بر یک فرایند اشباع حکم‌فرماست معمولاً بر اساس دونوع تأثیرش دسته بندی می‌شود.

محیط‌ها جریان گرما را هدایت می‌کنند تا (۱) بر دما اثر بگذارند یا (۲) حالت فیزیکی جسم را تغییر دهند.

وقتی گرمای جسم یا از آن جریان می‌یابد و فقط در دمایش تأثیر می‌گذارد، ما آن را گرمای محسوس می‌نامیم. وقتی که چگالی جسمی قدری با دمایش تغییر کند، جریان گرمای محسوس حالت فیزیکی آن را تغییر نمی‌دهد. گرمای ویژه جسم حکم می‌کند که تغییرات دما نسبت مستقیم با جریان گرمای محسوس داشته، هرچه جریان شدیدتر باشد، تغییرات دما بیشتر است.

نظریه سرمایش تبخیری مستقیم بیشتر مدیون دکتر ویلیز کریر است. تئوری اشباع آدیباتیک یا اشباع بی‌درو و نمودار سایکرومتری استاندارد ریشه‌های آن نظریه است. ابتدا باید آنها را درک کرد تا عملکرد کولرهای تبخیری را بهتر فهمید.

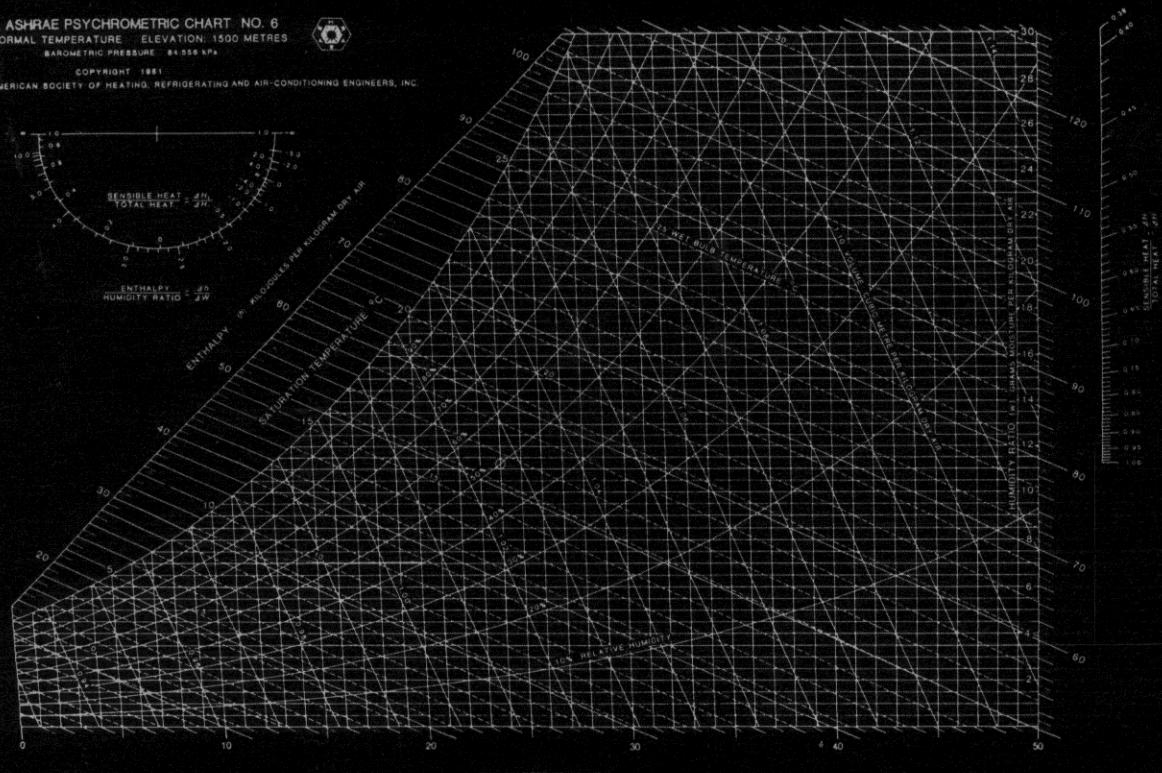
انتقال گرما و جرم
اصلًا، وقتی که آب و مخلوط غیراشباع هوا – آب در تماس آزاد با یکدیگر هستند ولی از لحظه حرارتی از سایر منابع تأثیرگذار عایق و جدا شده‌اند، بین آنها انتقال گرما و آب صورت می‌گیرد. به این دلیل که بین دمایها و فشارهای بخار آنها تفاوت وجود دارد. گرمای از گرمتر به سردر انتقال می‌یابد و بخار آب از آنکه فشار بخار بیشتری دارد به سمت آنکه فشار کمتری دارد می‌رود.

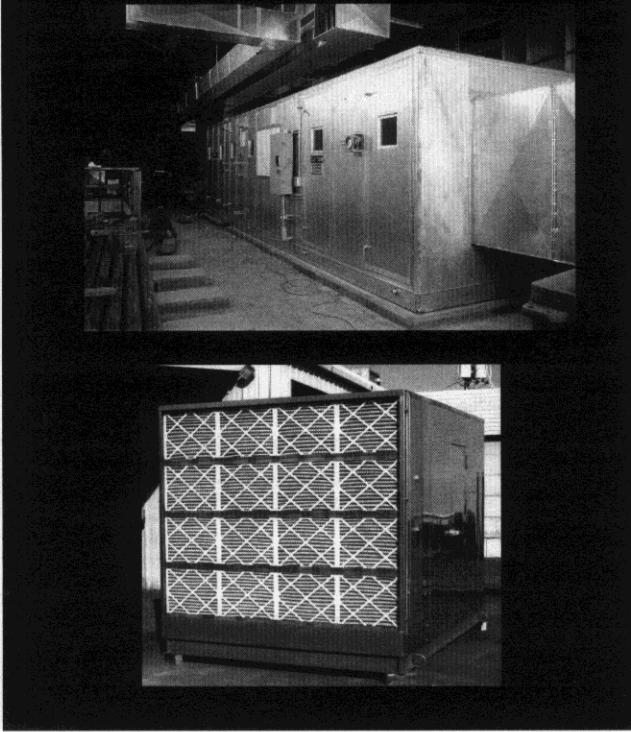
فرایند اخیر «انتقال جرم» نامگذاری شده (به موازات «انتقال گرما») و معمولاً شامل یک تبخیر ساده از سطح آب همراه با بخار آبی که در هوا مخلوط شده است، می‌باشد. اما، عکس آن نیز اتفاق می‌افتد؛ بخار آب در هوا تقطیر می‌شود بر این اساس که هر سطح در معرض آب که دارای دمایی مرتبط با یک فشار بخار پایین‌تر است.

با دادن وقت کافی، دمایها و فشارهای بخار برابر شده، به ادامه یافتن بیشتر جریان خالص خاتمه می‌دهد. نه تنها جریان یافتن گرمای دمایها را برابر می‌کند، بلکه عمل تبخیر، فشار بخار یکی را افزایش و دیگری را کاهش می‌دهد. انتقال گرما و

شکل ۱. نمودار سایکرومتری ASHRAE برای ارتفاع ۱۵۰۰ متر از سطح دریا

خطوط عمودی نشانگر دمای‌های حباب خشک ناتیجه هستند. خطوط افقی، نقاط شنبیم ثابت یا نسبتهای رطوبت ثابت هستند. دمای‌های حباب تر ناتیجه، خطوط برپشتر قطبی هستند و خطوط با شبکه کمتر مربوط به حجم مخصوص‌ها هستند. خطوط اشباع هستند که نشانگر رطوبت تسیب ۱۰۰ درصد هستند که در آنجا نقاط شنبیم، دمای حباب تر و حباب خشک با هم تلاقی دارند و در واقع یکی هستند. منحنی‌های دیگر نشانگر رطوبت‌های نسبی کمتر هستند. در منتهی‌الیه سمت چپ درجات مریوط به انتالپی چاب شده که نشانگر محتوای کیلوژول کل بر کیلوگرم هوای «خشک» است. (هوایی که حاوی بخار آب است و نه مه یا افسانه تبخیر نشده). بالای آن نیم‌دایره نسبت گرمای محسوس است تا به صورت گرافیکی شبکه مسیرهای فرایند سایکرومتری گرمایش و سرمایش اتفاق را بتوان تعیین نمود.





برای خنک کردن آب، بنابراین برای داشتن اثر سرمایش معین، حداقل آب مصرف می‌گردد و هوا رطوبت کمتری می‌گیرد.

اما در عمل آب معمولاً مقداری گرمای نهان خارجی را از طریق تشتک، پمپ و لوله کشی دریافت می‌کند. آب «جبرانی» که به تشتک می‌ریزد تا آب تبخیر شده را جبران کند گرما می‌افزاید و دارای گرمای ناشی از اصطکاک گردشی، انتقال گرما از محیط و احتمالاً افتتاب است. بنابراین غالباً «پیدیده‌های اشباع بی‌دررو» در سرمایش تبخیری تنها یک تقریب‌نده مقدار قابل توجهی تبخیر برای سرد کردن یا سرد کردن مجدد آب رخ می‌دهد.

وقتی آب گردشی به طور قابل توجهی از دمای حباب (wb) هوا در حین تماس اولیه گرمتر باشد همان فرایندی است که در برج‌های خنک کن اتفاق می‌افتد و آب گرم را خنک می‌کند. نه تنها فقط هوا بلکه هوا و آب هر دو با هم خنک می‌شوند. این فرایند را غالباً در سرمایش تبخیری مستقیمی می‌توان یافت که از آب یکبار مصرف یا بدون استفاده از پمپ استفاده می‌کنند.

در اینجا، آب از لوله‌های زیر سایه و بدون عایقی که ممکن است دارای دمای هوای بیرون باشد می‌آید، اما اگر لوله‌ها طولانی باشند و گرمای آفتتاب یا بام را گرفته باشند ممکن است دمای آب بیش از 120°F (50°C) باشد. در تماس، هم هوای و هم آب تسلیم گرمای محسوس شده با تبدیلشان به گرمای نهان خنک می‌گردد. آب تبخیر می‌گردد تا آب نیز مانند هوا خنک شود در نتیجه آب بیشتری مصرف می‌گردد زیرا دمای اولیه‌اش بیشتر است. هوای خنک تولیدی نیز گرمتر و مروط‌وتراز حالتی است که اشباع بی‌دررو (آدیاباتیک) باشد.

البته برخی سیستم‌های سرمایش تبخیری که از آن اصول استفاده می‌کنند، آب خنک شده را بدون استفاده مجدد از آن تخلیه می‌کنند. این عمل امکان خنک‌سازی بیشتر توسط آب را که خنک شده است ضایع می‌کند. اما این تخلیه در

بر همین اساس، وقتی جریان گرما، دمای آن را تغییر ندهد بلکه حالت فیزیکی آن را تغییر دهد یعنی باعث انجام، ذوب، تبخیر یا میان آن شود، ما آن را گرمای نهان می‌نامیم. اما چون این دو اساساً همسان هستند، بسته به محیط بیرونی، گرمای نهان براحتی به گرمای محسوس تبدیل می‌گردد و برعکس.

در حالتی که هوا و آب باشد، هر نوع جریان گرمای محسوس به آن یا از آن، دما را بالا یا پایین می‌برد. دریافت یا ازدست دادن 1 Btu گرمای محسوس، دمای 1 lb هوا را $4/2^{\circ}\text{F}$ و 1 lb بالا یا پایین می‌برد. بر حسب واحد متري، دریافت یا از دست دادن 1 Joule گرما باعث تغییرات دمایی 1 kg هوا را $0/0.196^{\circ}\text{C}$ یا یک لیتر آب را $0/0.418^{\circ}\text{C}$ می‌گردد.

با وجود آنکه جریان گرمای نهان در دماهای معمولی نمی‌تواند حالت فیزیکی هوا را تغییر دهد، اما باعث تبخیر آب در هوا یا تقطیر آب از هوا می‌گردد. گرمای نهان مورد نیاز برای تبدیل مقدار معینی از آب با دمای این رخداد مناسب و متغیر است. در 75°F (23.9°C)، تقریباً 10.5 Btu گرما برای تبدیل 1 lb آب لازم است. در $24422/26^{\circ}\text{C}$ در $24422/26^{\circ}\text{h}$ ($37/7^{\circ}\text{C}$ در $37/7^{\circ}\text{C}$)، مقدار آب تبخیر یا تقطیر شده مستقیماً وابسته به جریان گرمای نهان است. وقتی آب تبخیر می‌شود گرمای نهان مربوطه با بخاری که در هوا می‌رود همراه می‌گردد و در آن می‌ماند تا دفع گردد. ازان پس به آن گرمای نهان هوا گفته می‌شود. پس گرمای نهان هوا، بازتابی از محتوای بخار آب هواست.

وقتی که آب تبخیر می‌گردد، گرمای نهان مربوطه با بخاری که در هوا می‌رود همراه می‌گردد و در آن می‌ماند تا دفع گردد.

اشباع بی‌دررو (آدیاباتیک)

اصل نهفته در عمل سرمایش تبخیری مستقیم، تبدیل ساده گرمای محسوس به گرمای نهان است. هوای اشباع نشده در مجاورت آب خنکتر و آزاد که هم از لحاظ حرارتی و هم سایر اثرات دیگر قرنطینه (ایزوله) شده است، خنک می‌گردد. قسمتی از گرمای محسوس هوا به آب انتقال داده شده و با تغیر مقداری از آب تبدیل به گرمای نهان می‌گردد. این گرمای نهان همراه با بخار آب است و درون هوا نفوذ کرده با آن ادغام می‌شود.

اگر فرآیند بی‌دررو باشد، هیچ گرمایی گرفته نشده و یا از دست نمی‌رود بلکه دمای هوا با تبدیل گرمای محسوس به گرمای نهان، افت پیدا می‌کند. بخار و گرمای نهان اضافه شده، رطوبت هوا و محتوای گرمایی هوا را افزایش می‌دهند اما چون بخار در دمای اشباع هواست، موجب سرمایش هوا نمی‌شود.

این تبدیلات گرمای محسوس به گرمای نهان تمایل به ادامه و پیشرفت داشته تا آنکه هوا اشباع شده و دمایها و فشارهای بخار هوا و آب یکسان گردد. این پدیده را اشباع بی‌دررو (آدیاباتیک) می‌گویند زیرا هیچ گرمایی از بیرون در کار نیست یا بیرون نمی‌رود و عمل اشباع تنها با تبدیل گرمای محسوس موجود در هوا صورت می‌گیرد.

پدیده اشباع بی‌دررو در غالب و نه همه عمل‌های سرمایش تبخیری مستقیم هوا حکمران است. این فرآیند پایه در مواردی رخ می‌دهد که دمای اولیه آب، به دمای حباب تر هوا و روودی میل می‌کند. این اتفاق در سرمایش تبخیری مستقیم رخ می‌دهد که از همان آب بارها استفاده شده و به گردش درآید و دوباره با هوا در تماس قرار گیرد.

از لحاظ نظری، دمای آب ثابت مانده، در تماس با هوا نه بالا می‌رود نه پایین. این بهترین حالت است یعنی تمام تبخیر برای سرمایش هوا استفاده می‌گردد نه

تجهیزات پمپ کردن و هزینه‌های ایش صرفه‌جویی کرده و خودگی و رسوب‌گرفتگی را می‌کاهد.

محدودیت‌های سرمایش تبخیری مستقیم

محدودیت‌هایی برای سرمایش قابل دستیابی توسط اشیاع بی‌درو و وجود دارد. مقدار گرمای محسوس گرفته شده می‌تواند از گرمای نهان مورد نیاز برای اشیاع هوا با بخار آب بیشتر باشد. هوایی که تا ۵۰ درصد اشیاع شده (۵۰٪) درصد رطوبت نسبی را نشان می‌دهد و رطوبت به شکل شبیم تقطیر می‌شود. در حالی که همان هوا با همان sh در گرمای بعد از ظهر تنها ۱۰-۲۰ درصد رطوبت نسبی (rh) دارد. اندازه سوم مربوط به سطح رطوبت هوا دمای نقطه شبیم (dpt) است که دمایی است که در آن - به شرطی که هوا بدون تغییر در محتوای رطوبتی اش به این دما کاهش یابد - آب شروع به تعریق و تقطیر می‌کند. اصولاً سرد کردن هوای غیراشیاع می‌تواند ظرفیت هوا را برای نگهداری رطوبت بکاهد تا آنکه آن ظرفیت برابر مقدار رطوبتی شود که نگه داشته شده که باعث می‌شود ۱۰۰ درصد اشیاع یا ۱۰۰٪ بوجود آید و نشانه آن تعریق ظاهر شده روی سطوح سرد است. از آنجا که دمای نقطه شبیم تقریباً به طور مستقیم با محتوای رطوبی مطلق متغیر است، دارای نسبت ثابت با رطوبت مخصوص می‌باشد. بنابراین هوای خشک در آب، اشیاع است. به همین تناسب، وقتی که هوا خنک می‌گردد و به نقطه شبیم می‌رسد، رطوبت نسبی اش همیشه ۱۰۰٪ است.

دماهای حباب خشک و حباب تر

اندازه‌گیری رطوبت‌های نسبی و مخصوص مشکل است. معمولاً آنها را می‌توان با اندازه‌گیری همزمان دماهای حباب خشک و حباب تر هوا به وسیله دماستخراج به دست آورد.

دماهای حباب خشک (dbt) دمای هواست که با دماستخراج لخت معمولی به دست می‌آید. این ایده آفای Layman بود که می‌توان با پوشاندن حباب حساس دماستخراج به وسیله فتیله‌ای خیس و قرار دادن آن در جریان سریع هوا دمای حباب تر (wbt) را اندازه‌گیری کرد. تبخیر از فتیله، باعث خنک شدن آن در مسیر دمای اشیاع هوا خنک می‌شود تا آنکه گرمای جریانی به فتیله از هوای اطراف برابر با مقدار آن که توسط تبخیر دفع می‌شود، می‌گردد. دمای حباب تر بنابراین

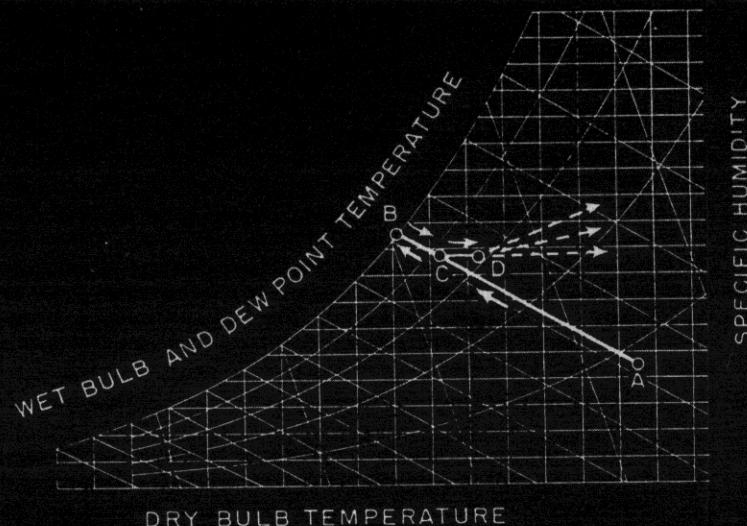
هرچه فرایند بی‌اشیاع بی‌درو نزدیکتر باشد، قدرت خنکسازی هوا بیشتر است. فرایند غیر بی‌درو مانند برج خنک کن است، هرچه «دامنه یا Range» که اصطلاح طراحی برج است بیشتر باشد دمای تعادلی «Mيل یا Approach» به حدی که رطوبت موجود هوا آن را مقید می‌سازد بسیار نزدیکتر است. این حد همان دمای حباب تر هواست.

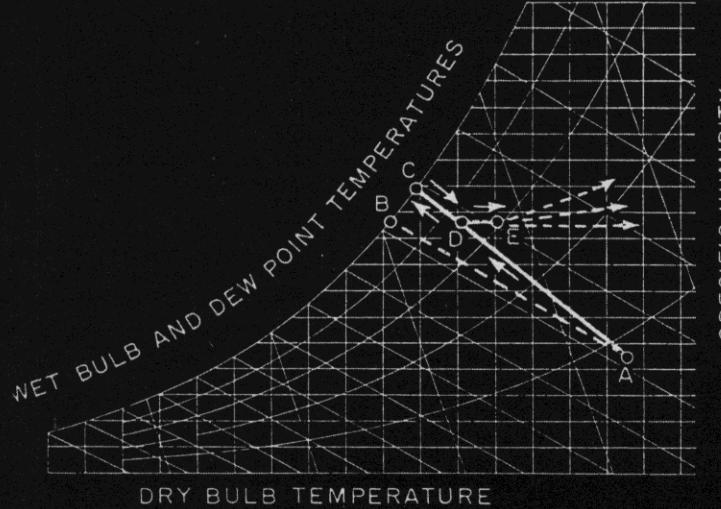
اندازه‌گیری رطوبت

چند نوع اندازه‌گیری متدال از محتوای رطوبتی هوا وجود دارد. رطوبت مخصوص (sh) و نسبت رطوبت هر دو یک مقدار را اندازه‌گیرند: وزن رطوبتی که مقدار وزن معنی از هوا در خود نگهداشته است. این اندازه مستقل از دماست. رطوبت مخصوص بر حسب قطره‌های رطوبت در پوند هوای خشک (قطره ۱/۷۰۰۰ پوند) یا بر حسب گرم رطوبت بر کیلوگرم هوای خشک اندازه‌گیری می‌شود. نسبت رطوبت بدون واحد است. وزن رطوبت به وزن هوای خشک اندازه‌گیر نسبت به دما است و رطوبت نسبی نامیده می‌شود (rh)، این اندازه، به ازای هر دمای معنی، درجه اشیاع هوا را نشان می‌دهد. وقتی که هوا کاملاً اشیاع است، رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد است. یک تعریف کامل از رطوبت نسبی، درصد رطوبت واقعی در هوا در مقایسه با آن وقتی که در همان دما کاملاً اشیاع شده باشد است (به عبارت دقیق‌تر، رطوبت نسبی در واقع نسبت فشارهای بخار است در حالی که «درجہ اشیاع» نسبت رطوبت مخصوص واقعی به رطوبت مخصوص هوا اشیاع در

شکل ۲. سرمایش تبخیری مستقیم ایده‌آل

اشیاع ادبیاتیک واقعی هنگامی رخ می‌دهد که (۱) هوا در تماس با این که دمایش برابر با دمای حباب تر هوا ورودی است قرار گرفته و این آب به سرعت دوباره در معرض هوا قرار بگیرد، و (۲) هیچ گرمایی از سایر منابع گرمایی دیگر به آن وارد نشود یعنی کولر عایق شده یا در سایه قرار گرفته باشد. در آنجا نقطه وضعیتی A نشانگر هوای بیرون ورودی به کولر است. بیشتر هوا به صورت انتقالی ثابت از A تا خنک و رطوبت‌زنی می‌گردد اما جزئی از آن از مرطوب شدن فواره کرده و در شرایط A باقی ماند. دو جزء با هم مخلوط شده، هوای شرایط C را می‌سازند. این هوا وارد بازن کولر و کانال‌ها شده و در آنجا قدری گرمای محسوس را جذب کرده به وضعیت D می‌رسد که این وضعیت «هوای نسبی» برای هدف سرمایش گفته می‌شود. از نقطه D، گرمای افق را جذب کرده، هوا در طول یکی از مسیرهای خطچین ارانه شده گرم می‌شود. این حالت ایده‌آل در بسیاری از کولرهایی که در سایه قرار می‌گردند و آب ورودی خنک دارند و گردش آب در آنها سریعتر است به وجود می‌اید.





حالت اول، اشباع غیر ادبیاتیک وقتی که رخ می‌دهد که: (۱) هوا در تماس با آبی که دمایش از دمای حباب تر هوای ورودی بیشتر است یعنی با آب به خوبی گردش می‌کند یا در حین تماس با هوا گرمای جذب می‌کند، یا (۲) می‌شود مثلاً از افتتاح بالای کولر، در حالت اول، دمای اولیه این بین دمای حباب تر هوای ورودی و حباب خشک هوای ورودی است. در اینجا نقطه وضعیتی A نشانگر هوای بیرون ورودی به یک کولر است. نقطه B نشانگر دمای حباب تر هوای ورودی و خط AB نشانگر مسیر فرآیند آن اشباع ادبیاتیک است که حاصل نمی‌شود. خط BC نشانگر گرمایی گرفته شده توسط هوا در سرد کردن آب تا دمای اشباع یا از منابع گرمایی دیگر است. بیشتر هوا با افزایش انتالپی سرد و رطوبت‌زنی می‌گردد از A تا C اما جزوی از هوا از مرطوب شدن فرار کرده و در شرایط A می‌ماند. این دو جزو مخلوط شده، شرایط هوای D را می‌سازند. این هوا وارد بادزن کولر و کالتالیا می‌گردد که در انجا گرمای محسوس را گرفته به E می‌رسد. در E به عنوان «هوای نسبته شده» برای کار سرمایش ارسال می‌گردد. این هوا گرمایی اتاق را گرفته و دمایش در طول یکی از مسیرهای خط‌چین پیشنهادی بالا می‌رود.

شکل ۳. سرمایش تبخیری مستقیم معمولی - حالت اول

سایر خواص سایکرومتری

از آنجا که بیشتر گرمای در هوای غیرخشک به صورت گرمای نهان است، انتالپی دارای نسبت ثابتی با دمای حباب تر است. به طور کلی، انتالپی تقریباً به طور مستقیم با دمای حباب تر تغییر می‌کند. رابطه بین رطوبت نسبی، نقطه شبنم و دمای حباب خشک و حباب تر ساده است. وقتی اشباع است، هوای دارای ۱۰۰٪ رطوبت نسبی است و نقطه شبنم آن دمای حباب تر و خشک آن با یکدیگر برابرند، (شکل ۱).

برای استفاده از نمودار سایکرومتری، باید اعداد مربوط به حد اقل دو مدار از مقادیر گفته شده را وارد کرد. نقطه‌ای که خطوط فرضی آنها با یکدیگر تلاقی می‌کنند، مشخص گردد. این نقطه را به نقطه حالت (state point) برای هوای موردنظر می‌گویند. موقعیت آن نشان‌دهنده سایر مقادیر سایکرومتری می‌باشد.

فرآیندهای سرمایش تبخیری روی نمودار سایکرومتری

فرآیندهای ترمودینامیکی معمولی، از مسیرهایی روی نمودار از نقاط حالت اولیه‌شان به طریق زیر دنبال می‌شوند.

۱. فرآیند اشباع بی دررو ایده‌آل، که بهترین سرمایش تبخیری مستقیم است. به صورت قطعی به سمت چپ بالا در طول خط انتالپی ثابت یا حباب تر ثابت به سوی نقطه حالت نهایی که توسط شرایط نهایی نظیر دمای حباب خشک یا رطوبت نسبی یا مخصوص، یا نقطه شبنم مشخص می‌گردد، ادامه می‌یابد. این مسیر نشانگر افت در دمای حباب خشک هوا و دریافت مربوطه در دمای نقطه شبنم و رطوبت نسبی و رطوبت مخصوص است. (شکل ۲).

۲. فرآیند اشباع بی دررو معمولی که در برج‌های خنک‌کن و کولرهای تبخیر مستقیم که در آن آب به صورت غیرگردشی یا با گردش کند صورت می‌گیرد، است و حرکت دارد. ابتدا به صورت قطعی به سمت بالا و چپ در طول خطوط حباب تر ثابت یا انتالپی ثابت به نقطه‌ای می‌رود که توسط دمای حباب خشک هوای خنک‌شده تعیین شده است. سپس با داشتن این ثابت، به سمت بالا به نقطه حالتی می‌رود که توسط شرایط نهایی دیگر نشان داده شده است مثل رطوبت نسبی و مخصوص، و دمای حباب تر هوای حاصل از خنک کردن آب از دمای ورودی به دمای نهایی‌اش است. (شکل ۳) با دانستن مسیرهای چنان فرآیندهایی، چاره بایی سریع بسیاری از مسائل تهویه مطبوع میسر می‌گردد.

پایین‌تر از دمای حباب خشک است و مقدار آن نسبت معکوس با رطوبت اولیه هوا دارد.

اختلاف دمای حباب خشک و حباب تر هوا را فرو افت حباب تر Wet bulb depression می‌گویند که عاملی است دقیقاً یکنواخت اما به طور معکوس با رطوبت نسبی تغییر می‌کند. بنابراین رابطه بین دمای حباب خشک و تر راحتترین وسیله برای محاسبه سطح رطوبت است.

خواص سایکرومتری نهایی هوا، حجم مخصوص (spvol) آن است بر حسب m^3/kg یا ft^3/lb . حجم مخصوص در هر دمایی تقریباً به طور مستقیم با دما افزایش می‌یابد و به آرامی با رطوبت هوا افزایش می‌یابد. در اکثر فرایندهای تهویه مطبوع حدود $14\text{--}20.28 m^3/kg$ است.

نمودار سایکرومتری

برای ساده کردن محاسبات، خواص سایکرومتری (رطوبت‌سنگی) هوای غیرخشک روی نمودارهای سایکرومتری استاندارد رسم شده است، شکل (۱). مقادیر برای هر دو ویژگی سایکرومتری داده شده است و بقیه را می‌توان بدون محاسبه پیدا نمود.

این نمودار به صورت زیر ترتیب داده شده است:

◆ خطوط دمای حباب خشک ثابت که عمودی هستند.

◆ خطوط دمای نقطه شبنم ثابت و رطوبت مخصوص که افقی هستند.

◆ خطوط انتالپی ثابت که محتوای گرمایی بر هر پوند (کیلوگرم) هواست و دمای حباب تر که به صورت خطوط مورب به سمت پایین به راست هستند.

◆ خط اشباع منحنی‌های ۱۰۰ درصد رطوبت نسبی از راست به چپ، دمایی چاپ شده روی آن نشان‌دهنده نقطه شبنم و دمای حباب خشک و حباب تر در هوای اشباع مستند که در آن نقطه تلاقی می‌کنند.

◆ منحنی‌های رطوبت نسبی ثابت که زیر خط اشباع و غالباً موادی با آن قرار دارند.

◆ خطوط حجم مخصوص ثابت بر حسب فوت مکعب بر پوند یا متر مکعب بر کیلوگرم که دور از یکدیگر قرار دارند و از چپ به راست به سمت پایین می‌روند و از خطوط حباب تر شبیه کمتری دارند.

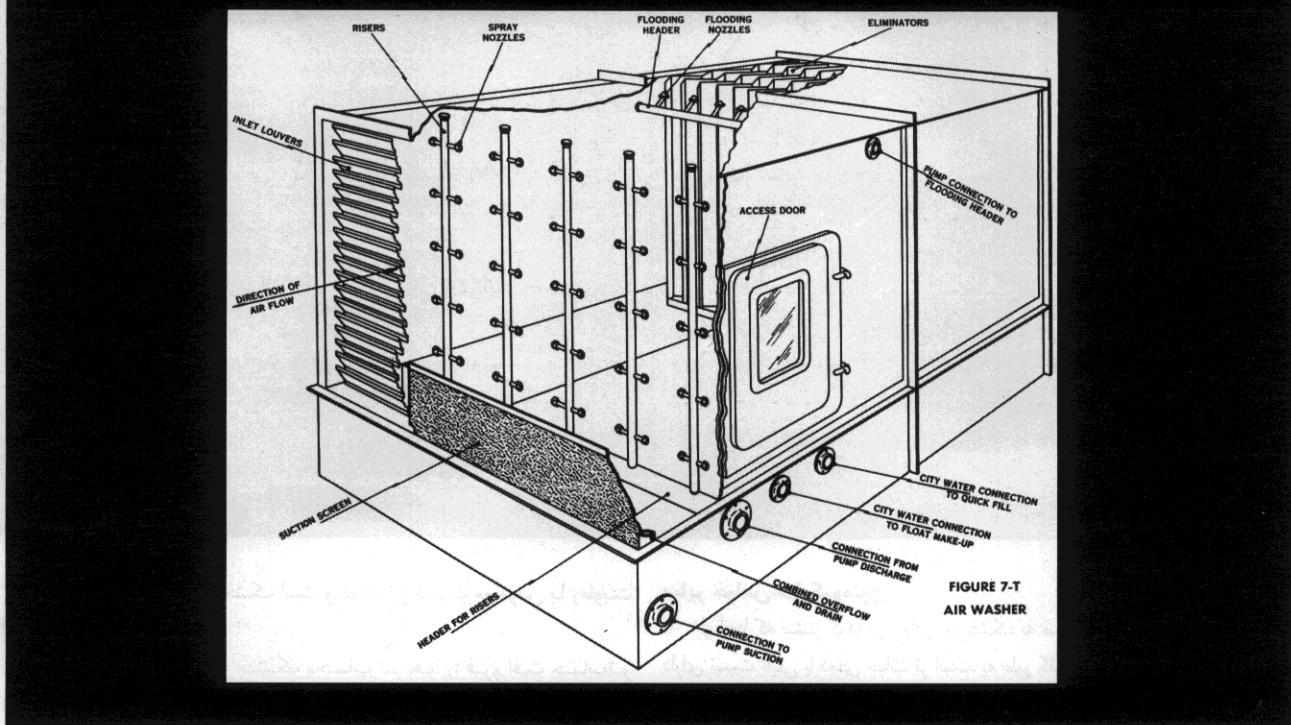


FIGURE 7-T
AIR WASHER

سرمایش تبخیری ایده‌آل

همان طور که نشان داده شد، سرمایش تبخیری ایده‌آل، بی‌دررور است یعنی بدون دریافت یا از دست دادن قابل ملاحظه‌ای در انتالپی رخ می‌دهد. مسیر فرایندش

خط انتالپی ثابت یا دمای حباب تر ثابت را دنبال می‌کند. (شکل ۳) معمولاً چنین سیستم‌های سرمایشی هوا بیرون را در دما و رطوبت موجود به درون می‌کشنند. نقطه حالت هوا بیرون روی نمودار سایکرومتری در محل تلاقی خط دمای حباب خشک آن و دمای حباب تر آن یا خط رطوبت نسبی قرار دارد. این نقطه رطوبت مخصوص، انتالپی، نقطه شبنم و حجم مخصوص را نشان می‌دهد.

(نقطه A در شکل ۲)

سپس هوا به صورت بی‌دررور در تماس با مساحت بزرگی از سطح خیس که دمایی مساوی یا در نزدیک به دمای حباب تر هواست رطوبت‌زنی می‌گردد. در کولرهای نوع چکه‌ای (کولرهای آبی متداول) هوا از میان پوشالهای خیس گذر می‌کند. در کولرهای از نوع ایرواشر و کولرهای دارای واسطه تبخیر صلب (Rigid Media) هوا از میان لایی(Pad)هایی می‌گذرد که دارای دهای دیواره خیس و گذرگاه‌های بیچ در پیچ است. در همه این موارد غالباً آب به سرعت به گردش درمی‌آید و باعث می‌شود که تقریباً دمای آب به دمای حباب تر هوا نزدیک گردد. (شکل ۳)

فقط در کولرهای آبی چنانچه گذرگاه‌های ریزش آب مسدود شده باشند و یا از ظرفیت دهش پمپ کاسته شده باشد ممکن است در گردش مناسب آب اختلالاتی بوجود آید.

با دادن گرمای محسوس هوا به سطح آب و تبدیل آن به گرمای نهان تبخیر، دمای حباب خشک هوا کم می‌شود. اما از دست دادن گرمای محسوس هوا با جذب همزمان بخار آب حاوی گرمای نهان معادل جبران می‌گردد. بنابراین این فرایند به

سمت بالا و چپ از نقطه حالت اولیه یعنی A حرکت می‌کند و موازی با خطوط انتالپی ثابت و دمای حباب تر است.

قسمتی از یا بیشتر هوا اشباع شده و به نقطه حالت جدید B می‌رسد جایی که خط حباب تر آن با خط اشباع برخورد می‌کند. ولی مقداری هوا فرار کرده به دليل اینکه با Pad ها تماس پیدا نکرده و از بین ذرات اسپری عبور کرده و یا اینکه از میان بدنۀ کولر بدرون رسخ کرده است، تأثیری رویش گذاشته نشده در این هوا همان نقطه حالت اولیه A را دارد.

در انتهای مرحله خیس شدن، هوا اشباع و هوازی خشک باقی مانده معمولاً با یکدیگر مخلوط شده مرحله‌ای را می‌سازند که می‌توان آن را با نقطه C روی خط ارتقای A و B نشان داد که در جایی آن بین بسته به خواص کمیت‌های مربوط قرار دارد. سپس در برخورد با بادزن و کانال‌ها، گرمایش اصطکاکی رخ می‌دهد. این امر موجب می‌شود که نقطه حالت نهایی به صورت افقی به سمت راست انتقال یافته و نقطه D را بسازد که نشان‌گر اندکی افزایش دماست.

سرمایش تبخیری عادی

اکثر سیستم‌های سرمایش تبخیری مستقیم با اشباع بی‌دررور ایده‌آل تفاوت دارند زیرا آب ورودی مقداری گرمای محسوس را اورد می‌کنند. بنابراین، هوا در دمای حباب تر و انتالپی غیرثابت رو به افزایش خنک می‌گردد. دو حالت وجود دارد: حالت اول، وقتی که دمای آب ورودی بین دمای حباب خشک و تر هوازی ورودی است و حالت دوم، وقتی که دمای آب ورودی از هر دو بیشتر است.

حالت اول: سیستم، هوا بیرون را با شرایطی که در نقطه حالت A در شکل (۳) نشان داده شده است، به درون می‌کشد. هوا در تماس با افسانه یا سطوح خیس که گرمتر از دمای حباب تر هوازی ورودی است رطوبت‌زنی می‌گردد. این فرایندی است که در کولرهای بدون پمپ یا گردش آب اتفاق می‌افتد. آب یا پس

رقیق شدن هوای نقاط وضعیتی که A و B مخلوطی را در نقطه E نزدیکی خطوط BD و AD می‌سازد که محل دقیق آن بستگی به کمیت‌ها و کیفیت‌های مربوطه دارد. بالاخره، گرمای محسوس دریافتی از بادزن و کانال‌ها، نقطه وضعیتی نهایی را به F جابجا می‌کند.

به طور واضح، این فرآیند در مقایسه با حالت اول، در سرمایش هوا کمتر مؤثر است در حالی که آب بیشتری مصرف می‌کند و از این وضعیت باید جلوگیری گردد.

بنابراین در کولرهای تبخیری بخصوص از نوع بدون پمپ یا با آب یکبار مصرف باید لوله آب را عایق‌کاری نمود. از آن گذشته اگر امکان داشته باشد، این خطوط باید از فضاهای داخلی عبور کرده و در هوای زیر شیروانی، بیرون یا زیر آفتاب کمتر در معرض قرار گیرند. در غیر این صورت باید به خوبی عایق گرددند. این مسئله را در مورد کولرهای دارای پمپ یا سیستم گردشی بخصوص آنها که دارای نزد بالای زیرکشی هستند نیز باید رعایت کرد.

از آنجا که گرمای ورودی به فرآیند از منابع دیگر به غیر از هوایی که باید خنک گردد، کارآیی کولرهای آبی را می‌کاهد باید (۱) تا حد امکان در سایه قرار گیرند؛ (۲) تا حد امکان آب ورودی خنک داشته باشند؛ و (۳) هوای خشکتری را دریافت کنند.

کارایی اشباع

در دستگاه‌های تجاری دستیابی به ۱۰۰ درصد اشباع هوای داغ و خشک غیرممکن به نظر می‌رسد. برای آنکه هوا بتواند از گذرگاه‌های واسطه‌های تبخیر (پوشال‌ها) به خوبی و به راحتی حرکت کند، اکثر آنها غیرمتراکم هستند و بیش از ۲ اینچ (۵ سانتیمتر) ضخامت دارند. بنابراین نقاطی که خشک باقی می‌مانند یا هوا از لایلای پوشال‌های غیرمتراکم و خالی شده منطقه‌ای عبور می‌کند یا از طرق دیگر به غیر از پوشال به داخل دستگاه نشست می‌کند باعث می‌گردد که به داخل هوای اشباع شده رفته و آن را راقیق کنند. حتی در ایرواشرهای خوب، فاصله‌های خالی بین افسانه‌ها و بین قطرات افسانه‌ها موجب می‌گردد که هوای خشک فوار کند. در معدودی کولرهای که تماس آب و هوا به مقدار طولانی است. حتی واسطه‌های تبخیر صلب بزرگ به ضخامت in (۴/۸ cm) نیز می‌توانند

از مصرف، تخلیه می‌گردد، یا در اثر دریافت‌های گوناگون گرما، گرم می‌شود یا اینکه کاملاً تبخیر می‌شود. با تبدیل گرمای محسوس به گرمای نهان و تبخیر قسمتی از آب، همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده فرآیند به سمت بالا و چپ به صورت انتالپی ثابت و دمای جباب تر ثابت حرکت می‌کند. همزمان، آب مقداری گرمای محسوس که ناشی از اختلاف دمایش که بالاتر از دمای جباب تر هوایی ورودی است به سیستم می‌دهد.

فرآیند حاصل مستقیماً در طول یک مسیر غیرقابل پیش‌بینی حرکت می‌کند. اما برای تحلیل دو مرحله در شکل (۳) نشان داده شده‌اند: از A تا B به صورت بی‌droro که نشانگر سرمایش محسوس قسمت اعظم هواست، سپس به سمت بالا از B تا C که نشانگر خنکسازی آب است. مرحله آخر، نقطه شبنم، رطوبتهای نسبی و مخصوص هوا را افزایش داده بدون آنکه به طور قابل مقایسه‌ای دمایش را بکاهد. این امر موجب می‌شود که از پتانسیل سرمایش آسایشی هوا بکاهد.

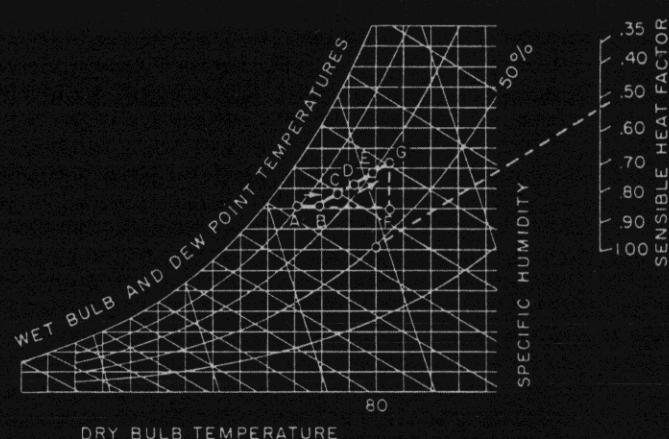
در سرمایش بی‌droro، بیشتر هوا تا C روی خط اشباع خنک می‌شود اما نشت و فرار از عناصر اشباع کننده باعث می‌شود که مقداری هوای تأثیر نیافته (نقطه حالت A) آن را راقیق کرده و منجر به وضعیت نقطه اختلاط D روی خطی بین A و C می‌گردد. محل دقیق نقطه D روی خط بستگی به کیفیت و کمیت هواهای مخلوط دارد. نقطه وضعیتی نهایی است. اگر بادزن یا کانال این نقطه وضعیت نهایی را به صورت افقی رو به راست تا E جابجا نکنند.

حالات (۱): همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده، هوا از نقطه وضعیتی A با آبی که مشابه حالت اول دمایش خنک‌تر از آب است، تماس می‌یابد، گرمای محسوس را از آب می‌گیرد و تا B گرم می‌شود تا آنکه دمای‌های هوا و آب یکسان شود و به حالت اول برسد هوا و آب با یکدیگر گرمای محسوس را به گرمای نهان تبدیل کرده موجب تبخیر می‌شوند.

این فرآیند برای قسمت اعظم هوا در طول مسیرهای نامعلومی تا D روی خط اشباع حرکت می‌کند که توسط مرحله سرمایش بی‌droro هوا از C و مرحله خنکسازی آب از C تا D نشان داده شده است.

شکل ۴. سرمایش تبخیری مستقیم معمولی - حالت دوم

اشباع غیرآدیاباتیک وقتی رخ می‌دهد که: (۱) هوا با آبی که دمایش بیشتر از دمای جباب تر هوای ورودی است در تماس آب به این دلیل که آب به گردش درنمی‌اید یا گرمای را در حین تماس با هوا دریافت می‌کند، با (۲) وقتی که گرمای منابع دیگر به آن می‌رسد مثلاً از آفتاب روی کولر، در حالت دوم دمای اولیه آب بالاتر از دمای جباب خشک هواست. در اینجا نقطه وضعیتی A نشانگر هوای بیرون ورودی به کولر است. تماس اولیه با آب گرمای محسوس را به هوا منتقال داده، به طور موقت آن را تا B گرم می‌کند. نقطه C نشانگر دمای جباب تر افزایش باتفاق هواست و خط BC نشانگر مسیر فرآیند ایده‌آل پدیده اشباع ادیاباتیک است که به دست نمی‌اید. خط CD نشانگر گرمای بیشتری است که هوا از آب یا منابع دیگر می‌گیرد تا همای اشباع خشک گردد. بیشتر هوا از B تا D با افزایش انتالپی، خنک و رطوبت‌زنی می‌گردد، اما قسمتی از آن از تماس فوار گردد و با در وضعیت B می‌ماند. ترکیبی از A و B، دو جزء با یکدیگر مخلوط شده، هوایی تقریباً با وضعیت E را می‌سازند این هوا وارد بادزن کولر و کانال‌ها شده و مقداری گرمای نهان شده برای کار سرمایش ارسال می‌گردد. از نقطه F، گرمای عنوان «هوای شسته شده» برای کار سرمایش ارسال می‌گردد. از اتفاق جذب شده، هوا در طول یکی از مسیرهای خط‌چین بیشنهادی گرم می‌شود.



فرآیند سرمایش تبخیری در اتاق هوای خنکی که از کولرهای تبخیری مستقیم خارج می‌شود و معمولاً به آن هوای شسته شده می‌گویند با حجم زیاد و سرعت قابل ملاحظه‌ای وارد اتاقها می‌گردد و باعث به گردش درآوردن خوب هوای اتاق می‌گردد. معمولاً دمای ورودی بین 0°F تا 10°F ($15/6^{\circ}\text{C}$) است (۲۶/۷°C) حباب پنجره‌ها، کفها، سقفها، افراد، مصالح، چراغها، وسایل و مبلمان اتاقها می‌گیرد. این موارد خنک می‌گردند و محتوای گرمای محسوس هوای شسته شده و دمای حباب خشک آن نیز خشک dbt را دارد درنتیجه گرمای محسوس را از دیوارها، بدان دلیل بالا می‌رود.

همچنین گرمای نهان هوای شسته شده نیز در صورتی که بخار آبی در اتاق‌ها تولید شود بالا می‌رود. این بخار آب ممکن است از سطوح آب یا گیاهان داخل، از پوست بدن و شش‌ها، از لباسشویی، پخت و پز، فرایندهای صنعتی، شعله گاز طبیعی رویاز و غیره باشد. نفوذ به داخل هوای بیرون معمولاً انگکی بار نهان را برای کولرهای آبی بالا می‌برد. در حالی که رطوبت‌گیری واقعی نمی‌تواند صورت گیرد اما همه بخارهای تولیدی در اتاق که در هوای شسته شده گرفته شده‌اند با آن به خارج تخلیه می‌گردند.

تخلیه هوای شسته شده به بیرون

وقتی که دمای هوای شسته شده 5°F تا 10°F ($15/6^{\circ}\text{C}$) بالا می‌رود، ضرورت دارد که بگذاریم آزادانه به بیرون تخلیه شود. قاعده‌ای از طریق پنجره‌ها، درهای باز، هواکش‌ها و ترجیحاً از طریق فضاهای زیر شیروانی تخلیه می‌شوند. بنابراین گرمای ورودی به اتاق‌ها یا تولید شده در آن به طور دائم توسط جریان هوای شسته شده به بیرون تخلیه شده، دما را پایین می‌آورد و باعث تهویه می‌گردد.

این فرآیند سرمایش را می‌توان روی نمودار سایکرومتری دنیال نمود (شکل ۵) هوای شسته شده با ترک کولر و بادزنش در نقطه وضعیتی A در کانال‌ها قدری گرم شده به نقطه وضعیتی B جایی که به اتاق وارد می‌شود، می‌رسد. از اینجا، حرکت فرآیند به صورت افقی به سمت راست که نشان‌دهنده جذب گرمای محسوس اتاق و محتوایش توسط هوای خنک کننده است و به سمت بالا که نشان‌گر جذب رطوبت است. حرکت ترکیبی وقتی که هوای شسته شده به دمای حباب خشک تخلیه‌اش در نقطه وضعیتی G می‌رسد و به بیرون حرکت می‌کند، پایان می‌یابد. برای تحلیل، این مسیر به شکل گرمایش محسوس از B تا F که توسط یک حرکت گرمایش نهان رو به بالا به سمت نقطه وضعیتی G مربوط به تخلیه است بهتر نمایش داده شده است. نقطه G در محل تلاقی دمای حباب خشک نهایی هوا با یکی از خطوط رطوبت نسبی یا دمای حباب تر است.

یک خط هوای شسته شده ورودی و تخلیه یعنی نقاط وضعیتی B و G را به یکدیگر ارتباط می‌دهد و قدری رو به بالا است. برخی از نمودارهای سایکرومتری مثل شکل (۱) بر حسب ضریب گرمای محسوس SHF که درصد گرمای محسوس در بار گرمای کل است و باید دفع شود درجه‌بندی شده‌اند.

(شکل ۱) (پایا) شیب‌های نمودار سایکرومتری را برای مسیرهای فرایندهای سرمایش اتاق پیدا می‌کند. خطوط از مرکز دایره به نسبت‌های گرمای محسوس یا انتالپی‌های هوا تقسیم بر نسبت‌های رطوبت، این شیب‌ها را تعیین می‌کند.

در شکل (۵)، شیب مناسب و صحیح برای BG موارزی با خطی است که از نقطه مرجع O شروع به درجه مربوطه که در سمت راست خوانده می‌شود ختم

به راحتی ۱۰۰ درصد هوا را اشباع سازند. هرچه واسطه‌های تبخیر یا افسانه‌ها متراکم‌تر و سرعت هوا کمتر باشد زمان تماس هوا و آب بیشتر می‌گردد و از رقیق‌سازی می‌کاهد. اما این نیاز به بادزن‌ها، پمپ‌ها و واحدهای خیس‌کننده بزرگتری دارد. علاوه بر آن، از آنجا که استفاده هواز نزدیک به اشباع برای کاربردهای درون اتاقی موجب طبله (باد کردن روکش‌های چوب، رنگ، کاغذ دیواری و غیره)، خوردگی، عرق کردن مواد وغیره می‌گردد، کارایی اشباع کامل به نظر ضروری نمی‌آید.

غالب کولرهای تبخیری مستقیم جدید دارای حدود ۸۰ درصد کارایی اشباع هستند. نوع قطره‌چکان (یا همان کولرهای آبی متداول ارزان قیمت)، می‌توانند ۵۰ تا ۷۰ درصد راندمان اشباع داشته باشند اما کولرهایی که واسطه تبخیر از نوع خیس‌شونده با افسانک و یا واسطه تبخیر صلب دارند و یا ایروشرها می‌توانند تا بیش از ۹۰ درصد کار اشباع را انجام دهند. نسبتی که هم به آن بازده یا کارایی سرمایش یا اشباع نیز می‌گویند نرخ چنین عملکردی را نشان می‌دهد و به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$ES = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_3}$$

که در آن:

ES = بازده تبخیر، درصد

t_1 = دمای حباب خشک هوای ورودی

t_2 = دمای حباب خشک هوای خروجی

t_3 = دمای حباب تر هوای ورودی

)

بازده تبخیر بسته به طرح، شرایط و تنظیمات دستگاه متفاوت است و ارتباطی بر شرایط آب و هوایی ندارد و باید به طور کافی آب را به هوا در تماس قرار دهد. از آنجا که مقادیر آنها غالباً مشابه است، نباید بازده تبخیر را با رطوبت نسبی هوای خنک‌شده اشتباہ کرد. در اکثر آب و هواهای کولرهایی که ۸۰ درصد بازده تبخیر دارند هوای حدود ۸۰٪ رطوبت نسبی را ارسال می‌کنند. در آب و هوای خشک می‌توانند هوای تا ۶۰٪ رطوبت نسبی نیز تولید کنند که وضعیت ایده‌آلی است.



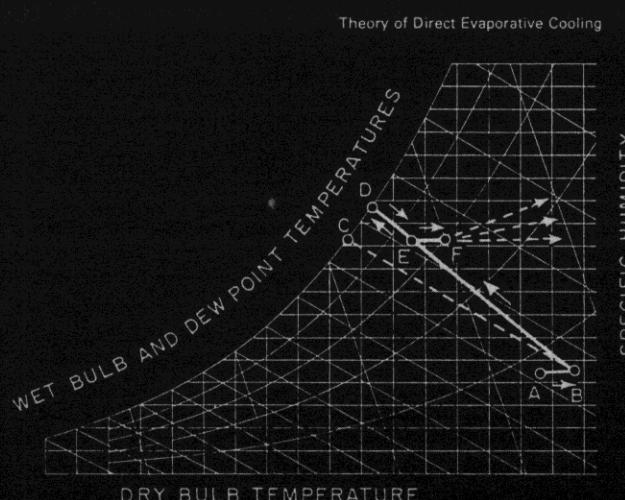
بالایش افت می کند، باعث می شود سطح آسایش افزایش یابد. در مناطق مرطوب، اگر هوای شسته شده با 80% رطوبت نسبی وارد شود، برای آنکه بتواند بیش از 70% 5°F قبل از تخلیه خلی گرم است زیرا رطوبت نسبی اش تنها تا 70% است. اما در يك آب و هوای افت می کند بنابراین، میانگین رطوبت اتفاق $rh = 75\%$ است. دریافت دما تخلیه می گردد که سبب می شود رطوبت خشک و داغ ایده آل، هوای شسته شده ورودی با $rh = 60\%$ نزدیک به $rh = 40\%$ و پس از 10°F ($5/6^{\circ}\text{C}$) دریافت دما تخلیه می گردد که سبب می شود رطوبت نسبی اتفاق ها 50% بماند یعنی مثل سرمایش تبریدی.

غالب پدیده های سرمایش تبخیری مستقیم بین دو حد بالا اتفاق می افتد که

می شود. ضریب گرمای محسوس Shf از بالای 90° درصد تا خانه های کم جمعیت، اتفاق های خشکی که به خوبی عایق بندی نشده اند یا دارای ماشین آلات خشک و داغ هستند تا احتمالاً ۳۰ درصد که سالن های اجتماعات یا رستوران ها و آشپزخانه های پربخار متغیر است.

نقاط وضعیتی، برای اتفاقی که هوای شسته شده از آن عبور می کند از ورود تا تخلیه، روی خط BG قرار دارد. اگر تنها یک اتفاق را طی کند، نقطه وضعیتی میانگین آن را می توان به عنوان نقطه D نشان داد. در حالی که دو اتفاق پشت یکدیگر را طی کند - حداکثر تعدادی که برای سرمایش تبخیری توصیه می شود

شکل ۵. مسیر فرآیند سرمایش تبخیری مستقیم در اتفاقها



کولرهای تبخیری مستقیم اتفاقها را با غرق کردن آنها با هوای شسته شده که به مقدار جشمگیری دمایش پایین تر از دمای میانگینشان است خنک می سازد. هوای گرمای اتفاق را تا وقته که دمایش از دمای اتفاق بالا رود می گیرد و سپس ازدانه بدون آنکه باز گردشی صورت دهد به بیرون تخلیه می شود و گرمای جذب شده را به بیرون می برد. در اینجا نقطه وضعیتی A هوای شسته خروجی از کولر و ورودی به کانالهای توزیع را نشان می دهد. گرمای محسوس جذب شده در کانالهای را تا B گرم می کند و در انجا وارد اتفاقی که باید خنک شود می گردد. در انجا هوای گرمای محسوس و هم گرمای نهان را جذب می کند. گرمای محسوس اتفاق، هوای شسته شده را از B تا C گرم می کند در حالی که گرمای نهان اتفاق، رطوبتش را از F تا G بالا برده، مسیر فرآیند مرکب BG را به دست می دهد. در G هوای شسته شده به بیرون تخلیه می شود، هر یوند هوا انتالیی هوای اتفاق را به نسبت از G تا B کم می کند. اگر یک اتفاق به تنهایی خنک شود، نقطه وضعیتی میانگین از D است که در میانه راه بین B و G است. اگر دو اتفاق پی دریابی باشد، و توسط یک هوای شسته شده خنک شود، نقاط وضعیتی به ترتیب C و E است و بحسب دریافت گرمایشان در موقعیت مربوطه هستند. شیب مسیر فرآیند BG را می توان به صورت ترسیمی یا گرافیکی و از روی ضریب گرمای محسوس یا ضریب گرمای محسوس کل تعیین کرد. یعنی تقسیم ددهی گرمای محسوس بر گرمای کل ورودی به فضایی که باید خنک شود. مسیر BG موازی با خطی است که ضریب گرمای محسوس جدول بندی شده سمت راست را با نقطه مینا در محل تلاقي $50\% \text{ rh}$ و 80 db وصل می کند.

میانگین رطوبت نسبی آن 60% است. اما حرکت سریع هوای شسته شده از پوست بدن احساس خنک شدنی را مشابه با رطوبت کمتر پدید می آورد که نکته مهمی است که بعداً به آن اشاره می شود.

حتی در اقلیم های نسبتاً مرطوب، بسیاری مناطق داغ صنعتی مثل موتورخانه، کوره خانه، دیگرانه، و اتفاق های فرآوری، کارگاه های ریخته گری و نورد وجود دارند که دریافت گرمای محسوس داخلی کافی به اضافه دریافت گرمای ناشی از اتفاق از طریق یام در آنها آنقدر هست که سرمایش تبخیری رطوبت داخل را تا حد زیادی بالا نمی برد مگر آنکه دریافت گرمای نهان زیادی در آنها وجود داشته باشد که با این کاهش رطوبت نسبی که به سود ماست مقابله به مثل کند.

وقتی ضریب گرمای محسوس بین $1/0.3$ تا 0.1 است مثل آشپزخانه های رستوران ها، لباسشویی ها و کاخانه های با فرآوری مرطوب، رطوبت نسبی هوا از ورود هوای شسته شده تا خروج آن تقریباً ثابت می ماند. این امر باعث می شود که خودگی یا شبیم یا عرق کردن پیش آید و در دماهای معمول صدمات می توان نزدیک به $75\% rh$ دهد. رطوبت پایدار و ساکن همچنین می تواند آسایش قابل دستیابی را کاهش دهد.

- دو نقطه وضعیتی به دنبال هم را روی خط BG در نقاط C و B می توان تعیین نمود که به ترتیب مربوط به دماهای جباب خشک میانگین می باشد. اتفاق دوم لزوماً گرمتر از اولی خواهد بود اما رطوبت نسبی کمتری هم خواهد داشت. اما سطح آسایش نیز در آن از درجه کمتری برخوردار است زیرا سرعت و آشفتگی هوا مضمحل می گردد. اتفاق اول دارای آشفتگی بیشتر است زیرا جریان های متتمرکز هوای شسته هوا اتفاق را به شکل گردباده های بی شماری احاطه می کنند. اتفاق دوم معمولاً فقط جریانی تخت، یکنواخت و کم سرعت تری را که به سمت بازشوی تخلیه است دریافت می دارد.

از انجا که هوای شسته شده باید قبل از اینکه گرمای اتفاق آن را پیش از 0°F ($5/6^{\circ}\text{C}$) گرم کند به بیرون تخلیه شود نقطه وضعیتی یک اتفاق منفرد باید بیش از 5°F ($2/8^{\circ}\text{C}$) گرمتر از هوای شسته شده ورودی باشد. نقاط وضعیتی مربوطه برای دو اتفاق پی دریابی که یک هوای شسته شده از آن دو عبور می کند باید به ترتیب بیش از 3°F ($1/7^{\circ}\text{C}$) تا 4°F ($2/2^{\circ}\text{C}$) و 6°F ($3/3^{\circ}\text{C}$) بالاتر از هوای شسته شده تازه ورودی باشد.

رطوبت نسبی داخل

همین که هوای شسته شده گرمای نهان اتفاق را جذب کرد، رطوبت نسبی