

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

راهنمای تهویه مطبوع تبخیری

Evaporative Air Conditioning Handbook

جان آر. وات

ترجمه

کوروش امیراصلانی



موسسه انتشارات علمی
دانشگاه صنعتی شریف



مؤسسه انتشارات علمی
دانشگاه صنعتی شریف

راهنمای تهویه مطبوع تبخیری (Evaporative Air Conditioning Handbook)

تألیف: جان آر. وات (John R. Watt)

مترجم: کوروش امیراصلانی

مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف

چاپ اول: ۱۴۰۲

شمارگان: ۱۰۰۰

حق چاپ برای مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف محفوظ است

ISBN 978-964-208-319-0

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۰۸-۳۱۹-۰

تلفن: ۶۶۱۶۴۰۷۰-۶۶۱۶۴۴۴۹

دفتر مرکزی: خیابان آزادی - دانشگاه صنعتی شریف

فروش اینترنتی: <https://book.sharif.ir>

پست الکترونیکی: publishing@sharif.ir

سرشناسه: جان آر. وات، John R. Watt

عنوان و نام پدیدآور: راهنمای تهویه مطبوع تبخیری / جان آر. وات؛ ترجمه کوروش امیراصلانی

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی، ۱۴۰۲

مشخصات ظاهری: ۷۰۴ ص. مصور، جدول و نمودار.

شابک: 978-964-208-319-0

وضعیت فهرست نویسی: فیپا

یادداشت: عنوان اصلی: Evaporative Air Conditioning Handbook

موضوع: تهویه مطبوع

شناسه افزوده: کوروش امیراصلانی

شناسه افزوده: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی

شناسه افزوده: Sharif University of Technology. Institute of Science Publication

رده‌بندی کنگره:

رده‌بندی دیویی:

شماره کتابشناسی ملی:

اطلاعات رکورد کتابشناسی: فیپا



راهنمای تهویه مطبوع تبخیری

EVAPORATIVE AIR CONDITIONING HANDBOOK



DR. JOHN R. WATT

Richard L. Koral, Loren W. Crow, Alfred Greenberg

ترجمه: کوروش امیراصلانی

کلام صاحب اثر

اکثر مناطق مرکزی ایران دارای هوایی گرم و نیمه خشک می‌باشند. از دیرباز برای مقابله با گرمای سخت تابستان مردم این دیار به زیر زمین پناه می‌بردند. بادگیرها با هدایت هوا به سطح حوض آبی که در وسط زیرزمین قرار داشت، موجب ایجاد هوایی خنک و لذت بخش می‌شدند.

با پیدایش برق، ابتدا پنکه برقی و سپس کولر آبی برای اولین بار توسط شرکت ارج و تحت لیسانس کمپانی آمریکایی وارد بازار ایران شد.

در حدود ۶۰ تا ۷۰ سال گذشته نوآوری خاصی توسط سازندگان کولر آبی در ایران مشاهده نشده است و محصول فعلی آنان با کالای ۵۰ سال قبل فرق چندانی ندارد. از سال ۱۳۷۸ شرکت انرژی، وارد بازار کولر آبی شد و نسل جدیدی از آن را با نام کولر سلولزی به بازار ایران معرفی کرد. در این کولر به جای استفاده از پوشال چوبی، واسطه تبخیر دیگری به نام پد سلولزی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کولر آبی مصرف برق بسیار کمتری نسبت به سرمایش تراکمی دارد و موجب صرفه جویی انرژی می‌شود. عدم استفاده از گازهای مبرد نیز آن را با محیط زیست سازگارتر می‌نماید.

با نشر این کتاب تلاش داریم تا ویژگی‌های سرمایش تبخیری را مطابق یافته‌های علمی مستندسازی نماییم تا موجب ارتقاء آگاهی علاقمندان شویم.

از یاری ارزشمند همراهان عزیزی که در نشر این اثر یاری نمودند سپاسگزاریم.

از مرحوم مهندس محمود مشکوری که بانی اصلی و حامی علمی اثر بود.

از آقای مهندس بابک بختی که مدیریت صحنه، ترجمه و به ثمر نشستن اثر را به عهده داشتند.

از آقای مهندس کوروش امیراصلانی که ترجمه را انجام دادند.

باسپاس

حمیدرضا مهدیان

مدیرعامل و رئیس هیئت مدیره شرکت انرژی

پیشگفتار

پیشگفتار نسخه ۱۹۶۳

تهویه مطبوع کارایی انسان را به همراه آسایش او افزایش می‌دهد. خانه‌ها، ادارات و کارخانه‌های دارای تهویه مطبوع، بی‌تردید بهره‌وری انسان را بالا برده و موجب کاهش غیبت، هزینه‌های مالی، اشتباهات، تصادفات و شکایات، به‌ویژه در فصل تابستان می‌شوند. بر این اساس، هر ساله بسیاری از کارفرمایان به منظور افزایش سود تابستانی، اتاق‌های کار و دفاتر را خنک می‌کنند. کارمندان نیز به نوبه خود خانه‌های خنکی را پیدا می‌کنند که نه تنها راحتی و اعتبار آن‌ها را افزایش می‌دهد، بلکه کارایی و درآمد شخصی را نیز بالا می‌برد.

با چنین انگیزه اقتصادی، سرمایه‌ش تابستانی کم هزینه باید بدون هیچ مقاومتی در مورد انواع ساختمان‌های مسکونی تسری یابد.

سیستم‌های برودتی بهترین سرمایه‌ش را برای ما فراهم کرده و در مواقعی که افراد در کنار هم در ساختمان‌های خوش ساخت، سایه دار و عایق بندی شده اقامت دارند، به خوبی کار می‌کند. با این حال، هزینه‌های اولیه و عملیاتی آن، موجب عدم استفاده از آن در ساختمان‌های تجاری، صنعتی و مسکونی می‌شود.

خوشبختانه، سرمایه‌ش تبخیری یک جایگزین اقتصادی در بسیاری از مناطق است. اولین بار از این روش در خانه‌ها و کسب و کارهای واقع در جنوب غربی [ایالات متحده] و در کارخانه‌های نساجی استفاده شد و سریعاً به سایر حوزه‌ها و اقلیم‌ها نیز گسترش یافت. در سال ۱۹۴۶، شش شرکت تعداد ۲۰۰ هزار کولر تبخیری را تولید کردند. در سال ۱۹۵۸، با وجود فروش فوق العاده کولرهای گازی پنجره ای، یک میلیون و ۲۵۰ هزار دستگاه کولر تبخیری توسط ۲۵ شرکت تولید شد.

اگرچه قابلیت این کولرها کمتر از نوع برودتی است ولی سرمایه‌ش تبخیری ۶۰ تا ۸۰ درصد ارزان تر است. بنابراین برای گروه‌های با درآمد متوسط و اقلیم‌هایی که تابستان کوتاهی دارند مقرون به صرفه است. علاوه بر این، نساجی‌ها، کارخانجات، کارگاه‌ها، ریخته‌گری‌ها، نیروگاه‌ها، گلخانه‌ها، کارخانه‌های کنسروسازی و غیره را به صورت ارزان تری خنک می‌کند، در حالی که سرمایه‌ش برودتی این مکان‌ها بسیار گران تمام می‌شود.

با این حال، از آنجا که سرمایه‌ش تبخیری محصول شرکت‌های کوچک محلی است، لذا در سطح ملی کمتر شناخته شده است. به عنوان دومین نوع سرمایه‌ش برتر و به عنوان تنها نوع سرمایه‌ش اقتصادی

برای بسیاری از کارخانجات صنعتی، این نوع سرمایه‌ش سزاوار درک گسترده تری است. این کتاب سعی در ارائه این مهم دارد.

پیش‌گفتار ویرایش ۱۹۸۶

ظرف ۲۳ سال پس از نسخه اولیه این کتاب، فروش سرمایه‌ش تبخیری به شدت آسیب دید زیرا تهویه مطبوع بروودی به اندازه کافی ارزان شد تا جایگزین آن شود. سیستم‌های بروودی آسایش و استقلال بیشتری را از نظر شرایط آب و هوایی داشته، سرمایه‌ش آن کم‌صداتر بوده و کوران کمتری داشته، و به سادگی در اکثر سیستم‌های گرمایشی ادغام می‌شوند. تاسیسات آن نیز اغلب زیباتر است.

کاربرد سرمایه‌ش تبخیری بیشتر در کالیفرنیا، جنوبی‌ترین قسمت کالیفرنیا، کالیفرنیا، که در آن سرمایه‌ش بروودی موجب حذف بهتر مه دود منطقه‌ای می‌شود. در نتیجه چندین تولیدکننده و صدها فروشنده این میدان را ترک کردند.

با این حال، سرمایه‌ش تبخیری در ایالات آریزونا، نوادا، نیومکزیکو، کلرادو، تگزاس و یوتا که خشک و کمتر مرفه هستند، بازارهای ثابت خود را حفظ کرده و در نتیجه تولیدکنندگان و فروشندگان آن از تهاجمات سرمایه‌ش بروودی جان سالم به در برده و با رشد گسترده جمعیت و گرمای طاقت‌فرسای منطقه، که تقریباً همه را مجبور به خرید سیستم خنک‌کننده می‌کند، بازارها نجات یافتند.

در همین حال، کاهش اندکی در استفاده از خنک‌کننده‌های تبخیری بزرگ رخ داد. نیاز روزافزون به ارتقای بهره‌وری کارگران از طریق سرمایه‌ش ساختمان‌های صنعتی بزرگ، به فروش هواسازهای بزرگ چند منظوره از نوع افشانه‌ای کمک کرد که می‌توانستند در مواقعی که آب و هوا اجازه می‌داد، به صورت تبخیری و در زمان‌هایی هم که آب و هوا اجازه نمی‌دهد نیز از طریق بروودی خنک‌سازی کرده و همچنین گرما، هوارسانی و رطوبت را کنترل کنند. این تجهیزات به دلیل انعطاف‌پذیری، در هزاران کارخانه، نساجی، فرآوری و واحد‌های هسته‌ای و شیمیایی در سراسر کشور و تا فراتر از مناطق تاریخی سرمایه‌ش تبخیری مانند دیترویت گسترش یافته‌اند.

زمینه‌هایی مانند ذوب، فلزکاری، فرآوری مواد غذایی، خشک‌شویی، شستشو و تولید برق مستلزم خنک‌سازی ساده توام با هوارسانی فراوان هستند. در نتیجه دستگاه‌های سرمایه‌ش تبخیری کوچکتر، با استفاده از پدهای خیس شده توسط افشانه یا "پرتاب آب"، نیازهای آنها را برآورده می‌کردند.

سپس ماده واسط انقلابی پد صلب مونترز (Munters) عرضه شد. این پد از چندین ورق سلولزی محکم، موجدار و دارای الیاف شیشه که به هم چسبیده بودند ساخته شده و ضمن ماندگاری طولانی

و قابلیت خود تمیز شوندگی، بازده بالایی دارد. آن‌ها ساخت کولرهای بزرگ، ساده و بی دردسر را ممکن کرده و جایگزین بسیاری از هواسازها شدند.

در سال ۱۹۷۳، افزایش شدید هزینه های انرژی آغاز شد و این سرمایه‌بردتی بود که به مراتب بیشتر از نوع تبخیری دچار مشکل شد. در نتیجه، خنک سرمایه‌بردتی تبخیری بازگشتی پیروزمندانه داشت. تولید کنندگان کوچک جدیدی ظاهر شدند. تولیدکنندگان و فروشندگان موجود نیز گسترش یافتند. تخمین زده شده که در فاصله ۸۰-۱۹۷۳ رشد سالانه از ۱۰ درصد در سال فراتر رفته است. بسیاری انتظار دارند که در دهه ۱۹۸۰ فروش کولرهای کوچک سالانه ۳۰ درصد رشد کند. فروش دستگاه های با ماده واسط صلب هم که رشد تقریباً انفجاری دارد.

به طور مشابه، کولرهای تبخیری غیرمستقیم تقویت شده، که هوا را بدون خیس کردن آن خنک می‌کنند، به عنوان پیش سردکننده‌هایی برای سرمایه‌بردتی تبخیری یا برودتی معمول گسترش می‌یابند. بنابراین در کنار هم، هزینه‌های عملیاتی را بسیار کاهش داده و کولرهایی را ارائه می‌کنند که در مناطق با رطوبت متوسط به خوبی عمل می‌کنند. این امر نویدبخش رشد سرمایه‌بردتی تبخیری در بسیاری از مناطق جدید است.

امروزه سرمایه‌بردتی تبخیری به صرفه جویی در هزینه های برق نوع برودتی کمک می‌کند. میلیون‌ها تن دستگاه‌های تهویه مطبوع کوچک و متوسط و سیستم‌های برودتی تجاری دارای کندانسورهای هوا خنک با بازده پایین در هوای گرم هستند. در حال حاضر بسیاری با دستگاه‌هایی که هوای بیرون را به طور تبخیری از قبل خنک کرده و بعد وارد آن کندانسورها می‌شود موجب صرفه جویی اقتصادی در تابستان می‌شوند. با این حال، افزایش هزینه های برق می‌تواند بسیاری از کولرهای گازی پنجره‌ای و سیستم های مرکزی کوچک را به حاشیه براند.

اگر چنین شود، سرمایه‌بردتی تبخیری مستقیم باید در مناطق خشک‌تر، و سرمایه‌بردتی تبخیری غیرمستقیم نیز در آب و هوای مرطوب‌تر، به همراه سرمایه‌بردتی تبخیری مستقیم یا سیستم‌های برودتی کوچک، عهده دار بارهای سرمایه‌بردتی شوند.

بدیهی است که عموماً سیستم‌های برودتی آسایش همه جانبه بهتری را ایجاد می‌کنند. با این حال، در محدوده های آب و هوایی تحت سلطه سیستم‌های برودتی، سرمایه‌بردتی تبخیری نیز از امتیازات مالی خوبی برخوردار است:

- هزینه تجهیزات و نصب بسیار کمتر
- هزینه های عملیاتی و برق بسیار کمتر
- هزینه های نگهداری بسیار کمتر

• اثرات هوارسانی بسیار بیشتر(در صورت نیاز)

• توزیع بهتر هوا بدون کانال

• سطح سر و صدای معمولاً کمتر

در دنیای امروز که هزینه های انرژی، مواد و نیروی کار در حال صعود است، به نظر می رسد در سال های آینده، مزیت های هزینه بر بسیاری از بازارهای سرمایه ربحان داشته باشد. بنابراین سرمایه گذاری تبخیری آینده خوبی دارد.

نگاه به آینده

بازار سرمایه تبخیری بسیار عظیم و در حال رشد است که با ساخت مسکن های جدید و هزینه های روزافزون برق تقویت می شود. با توجه به گزارش "ویژگی های مسکن جدید: ۱۹۸۲" اداره سرشماری، ۶۶ درصد از مسکن های جدید ساخته شده در آن سال دارای تهویه مطبوع بودند که نسبت به سال ۱۹۷۷ افزایش داشته است. این نشان می دهد که آمریکایی ها به طور فزاینده ای سرمایه گذاری را یک ضرورت می دانند. با شروع ساخت حدود ۱,۷۳۰,۰۰۰ مسکن جدید در سال ۱۹۸۵، تعداد خانه های جدید دارای سیستم سرمایشی به حدود ۱,۳۰۰,۰۰۰ واحد رسیده است.

با کاهش قابل توجه نرخ بهره در آن سال، با احتساب تعویض و بازسازی خانه های موجود، فروش سیستم های سرمایشی می تواند در دهه آینده چهار برابر شود. این مورد افزون بر فروش سیستم های بسیار بزرگ به بازارهای تجاری و صنعتی خواهد بود.

با وجود سقوط قیمت نفت پس از سال ۱۹۸۴، هزینه های برق همچنان در حال افزایش است. شرکت های برق نه تنها نفت کمتری نسبت به گاز طبیعی و زغال سنگ می سوزانند، بلکه بسیاری از آنها هزینه های بی رویه نیروگاه های اتمی، از جمله نیروگاه های متروکه را نیز مستهلک می کنند. همچنین بیشتر نیروگاه های اتمی موجود پر هزینه بوده و نسبت به نیروگاه های معمولی خاموشی بیشتری دارند. هر یک از آنها که تکمیل می شوند نیز سرمایه پایه شرکت را که از آن هزینه های قانونی مجاز اخذ می شود افزایش می دهند.

افزایش قیمت به دلیل دیگری اجتناب ناپذیر است. بارهای سرمایشی رو به رشد تابستانی، تقاضای برق سالانه را نامتعادل کرده و شرکت های برق را مجبور می کند تا کارخانه های خود را با افزایش هزینه مواد، نیروی کار و تجهیزات گسترش دهند، در حالی که این امر در فصول دیگر باعث ایجاد ظرفیت مازاد می شود.

به دلیل افزایش هزینه های برق، جابجایی جمعیت به ایالت های آفتابی، و تحرک جغرافیایی رو به رشد سیستم های تبخیری غیرمستقیم، سهم بازار سرمایه تبخیری به طور پیوسته در حال رشد

است و باید در آینده قابل پیش بینی این روند ادامه یابد. با شناخته شدن تجهیزات مرحله‌ای (صنایع آروین در این نوع تجهیزات پیش‌تاز است)، و تولید انبوه آن‌ها، فروش این تجهیزات باید به شکل قارچ گونه‌ای رشد کرده و در بسیاری از مناطق و حوزه‌های آب و هوایی، جایگزین بسیاری از سیستم‌های کاملاً برودتی شود.

تجهیزات خورشیدی نیز می‌تواند سهم قابل توجهی داشته باشند. شماره سپتامبر تا اکتبر ۱۹۸۴ نشریه *Solar Engineering and Contracting*، شرکت‌هایی را فهرست کرده که تجهیزات خورشیدی را ارائه می‌دهند. در بین آن‌ها سه کولر تبخیری غیرمستقیم یا مرحله‌ای، دو کولر مستقیم با انرژی فتوولتائیک و یک پیش‌سردکن تبخیری کندانسورهای برودتی ارائه شده‌اند.

افزایش پیش‌بینی شده بازده هزینه سلول‌های خورشیدی، شرکت‌ها را همچنان تشویق می‌کرد که ۴۰ درصد معافیت مالیات بر درآمد فدرال و برخی معافیت‌های مالیاتی ایالتی تا سال ۱۹۸۵ را از طریق یارانه قطعات خورشیدی استفاده شده در محصولات دریافت کنند. گرچه این معافیت‌های مالیاتی از بین رفته ولی عموماً هزینه کم در برابر تأسیسات ترکیبی پرهزینه ترجیح داشته و در نتیجه تجهیزات تبخیری نسبت به برودتی ترجیح داده می‌شوند. اگر در آینده نیز چنین معافیت‌های مالیاتی وجود داشته باشد، احتمالاً به صورت مشابه خواهد بود.

به طور خلاصه، روندهای اقتصادی قوی، موجب تشویق به توسعه سرمایه‌ش به منظور بهبود بهره‌وری و راحتی انسان می‌شود. دلایل زیادی وجود دارد که چنین سرمایه‌ش تا حد امکان، هم از نظر مصرف برق و هم از نظر چرخه عمر مقرون به صرفه باشد. به نظر می‌رسد سرمایه‌ش تبخیری از هر دو جنبه بر تمامی رقبا برتری دارد.

John R. Watt

Atlanta, Ga.

June, 1986

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	۸
فصل ۱: مقدمه.....	۲۹
فصل ۲: تاریخچه سرمایه‌ش تبخیری.....	۳۷
سرمایش تبخیری اولیه.....	۳۷
سرمایش تبخیری نوین.....	۳۹
سرمایش تبخیری در شرق.....	۴۰
سرمایش تبخیری در غرب.....	۴۲
آغاز تولید انبوه.....	۴۴
اهمیت تاریخی.....	۴۷
تحکیم صنعتی.....	۴۷
دستاوردها.....	۴۷
پرسش‌های دوره‌ای.....	۴۹
فصل ۳: تئوری سرمایه‌ش تبخیری مستقیم.....	۵۱
انتقال حرارت و جرم.....	۵۱
حرارت (گرمای) نهان و محسوس.....	۵۲
اشباع آدیاباتیک (بیدررو).....	۵۳
محدودیت‌های سرمایه‌ش تبخیری مستقیم.....	۵۵
اندازه‌گیری رطوبت.....	۵۵
دماهای خشک و مرطوب (تر).....	۵۶
نمودارهای رطوبت سنجی هوا (سایکرومتریک).....	۵۷
سایر خواص رطوبت سنجی هوا.....	۵۸
فرآیند رطوبت سنجی.....	۵۹
سرمایش تبخیری ایده‌آل.....	۶۰
سرمایش تبخیری معمولی.....	۶۳
بازده اشباع (شدگی).....	۶۶

فرآیند سرمایش تبخیری در اتاق‌ها..... ۶۷

تخلیه هوای شسته شده به بیرون..... ۶۷

رطوبت نسبی هوای داخل..... ۷۰

پرسش‌های دوره‌ای..... ۷۱

فصل ۴: ویژگی‌های آسایشی در تهویه مطبوع..... ۷۳

ترمودینامیک زیستی آسایش..... ۷۳

روش‌های دفع حرارت بدن..... ۷۶

عوامل موثر بدنی..... ۷۹

کنترل‌ها و محدودیت‌های دمای زیستی..... ۸۰

عوامل معماری و روانشناختی..... ۸۰

دماهای موثر و مناطق آسایش..... ۸۲

نمودارهای آسایش..... ۸۲

قابلیت محدود..... ۸۵

تطبیق نمودار آسایش با سایر شرایط..... ۸۶

منطقه آسایش سرمایش تبخیری..... ۸۷

شرایط توصیه شده تابستانی داخلی..... ۹۰

تنظیمات برای گرمای تابشی..... ۹۰

رطوبت نسبی‌های مجاز..... ۹۱

حرکت مجاز هوا در سرمایش تبخیری..... ۹۱

الزامات هوای تازه..... ۹۵

تمیزسازی هوا..... ۹۵

پرسش‌های دوره‌ای..... ۹۷

فصل ۵: محدوده جغرافیایی برای سرمایش تبخیری..... ۱۰۱

دماهای طرح سنتی..... ۱۰۲

دماهای خشک و مرطوب همزمان..... ۱۰۳

استفاده از نوسان دمای روزانه..... ۱۰۴

۱۲۱	ملاحظات اقلیمی و نیاز به سرمایه‌ش
۱۳۵	داده‌های آب و هوایی مقایسه‌ای بین‌المللی
۱۳۵	قابلیت کاربرد بین‌المللی سرمایه‌ش تبخیری مستقیم
۱۳۶	ایجاد آسایش
۱۴۶	بردارهای مسیر فرآیند
۱۴۹	کولرهای غیرمستقیم و محدوده جغرافیایی
۱۵۲	پرسش‌های دوره‌ای
۱۵۵	فصل ۶: کولرهای تبخیری مستقیم از نوع آبی
۱۵۶	طراحی بدنه کولر (کابینت)
۱۵۹	فن و موتور
۱۶۲	ظرفیت موتور
۱۶۳	قابلهای نگهدارنده پد
۱۶۵	جنس مواد پد
۱۶۷	سیستم توزیع آب
۱۷۱	پمپ گردش آب
۱۷۳	ضخامت و چگالی پد
۱۷۶	سرعت هوا در پدها
۱۷۷	جریان آب در پدها
۱۸۱	پرسش‌های دوره‌ای
۱۸۳	فصل ۷: توسعه کولرهای آبی
۱۸۳	شکم دادن پد
۱۸۵	گرفتگی پد
۱۸۷	ایجاد رسوب پوسته‌های بر روی پد
۱۸۸	دور ریز پمپ
۱۹۰	تصفیه شیمیایی آب
۱۹۳	تخریب پد

مشکلات بو.....	۱۹۳
مقاومت در برابر خوردگی.....	۱۹۴
کولرهای فولادی گالوانیزه.....	۱۹۴
کولرهای فولاد زنگ نزن.....	۱۹۶
کولرهای پلاستیکی قالب‌گیری شده به طریق تحت فشار.....	۱۹۷
یک کولر پلاستیکی قالبی دیگر.....	۱۹۹
کولرهای فایبرگلاس.....	۲۰۱
کولرهای استرالیایی از مواد مرکب.....	۲۰۲
داده‌های اغراق آمیز عملکرد در ایالات متحده.....	۲۰۶
کنترل‌ها.....	۲۰۹
کنترل‌های ایده‌آل کولر آبی.....	۲۱۰
اتصالات خورشیدی.....	۲۱۲
کولرهای آبی خورشیدی.....	۲۱۴
معافیت مالیاتی سیستم‌های خورشیدی.....	۲۱۴
پرسش‌های دوره‌ای.....	۲۱۶
فصل ۸: سایر کولرهای تبخیری کوچک.....	۲۱۹
کولرهای آبی پرتابل.....	۲۱۹
کولرهای نقطه‌ای.....	۲۲۳
کولرهای پد-پنجرهای نوع اگزوزی.....	۲۲۴
کولرهای جدید با پد غلتکی (دورانی).....	۲۲۵
کولرهای تبخیری اتومبیل.....	۲۲۹
کولرهای مدرن خودرویی.....	۲۳۰
کولرهای با محفظه مه.....	۲۳۲
یک کولر کوچک جدید با استوانه دوار.....	۲۳۴
سرمایش از نوع مه بیرونی.....	۲۳۵
کولرهای کوچک با ماده واسط صلب.....	۲۳۶

۲۳۶	..... کولرهای کوچک خورشیدی
۲۳۷	..... آینده
۲۳۹	..... فصل ۹: کولرهای تبخیری مستقیم تجاری
۲۳۹	..... کولرهای تبخیری آبی-پرتابی
۲۴۱	..... قابلیت انطباق
۲۴۳	..... پدهای اشباع یا "فیلترها"
۲۴۵	..... وسایل خیس کننده پد و مشکلات آنها
۲۴۸	..... پاشش به پد توسط پمپ و شیپوره
۲۴۸	..... تاثیر تمیزسازی هوا
۲۴۹	..... نام مناسب برای این کولرها
۲۵۱	..... ساختار کولر و جنس آن
۲۵۲	..... مزایا و معایب
۲۵۲	..... کولرهای تبخیری با پد دوار
۲۵۷	..... روتورها
۲۵۷	..... ویژگی‌های ضد رسوبی و ضد گرفتگی
۲۶۰	..... کولرهای با درام (استوانه) دوار
۲۶۳	..... فصل ۱۰: سیستم‌های سرمایه‌گذاری تبخیری ترکیبی
۲۶۳	..... سیستم‌های افزودنی
۲۶۴	..... مشکلات ناشی از اندازه کانال
۲۶۶	..... تغییر در سیستم افزودنی
۲۶۶	..... دستگاه‌های دو پشته
۲۶۹	..... یک دستگاه خانگی
۲۶۹	..... دستگاه‌های "هوای جبرانی"
۲۷۵	..... روش گردش گرما
۲۷۶	..... آینده

۲۷۹	.....	فصل ۱۱: کولرهای تبخیری هواساز
۲۸۰	.....	هواسازهای تجاری
۲۸۲	.....	کویل های گرمایشی - سرمایشی
۲۸۲	.....	جریان هوا
۲۸۲	.....	چیدمان افشانه
۲۸۴	.....	شیپوره‌ها
۲۸۵	.....	پیشرفت‌های جدید
۲۸۷	.....	عملکرد سرمایش
۲۹۰	.....	سلول های موین
۲۹۱	.....	وسایل خیس کننده
۲۹۲	.....	تاثیر تمیزسازی هوا
۲۹۲	.....	عملکرد سرمایش تبخیری
۲۹۳	.....	روند
۲۹۷	.....	فصل ۱۲: کولرهای با ماده واسط صلب
۲۹۷	.....	مواد جدید
۲۹۸	.....	عملکرد ماده واسط صلب
۳۰۱	.....	کولرهای بزرگ با ماده واسط صلب
۳۰۳	.....	کاربردهای کولرهای بزرگ
۳۰۳	.....	کولرهای نوع اگزوزی
۳۰۷	.....	کولرهای کوچک با ماده واسط صلب
۳۱۲	.....	پدهای افزودنی
۳۱۴	.....	کولرهای جریان مخالف عمودی
۳۱۷	.....	پرسش‌های دوره‌ای
۳۱۹	.....	فصل ۱۳: سرمایش واحدهای صنعتی
۳۱۹	.....	نظامات صنعتی
۳۲۰	.....	هزینه‌های واقعی سرمایش در صنعت

فرصت سرمایه‌ش	۳۲۲
سرمایش کارخانه به روش برودتی	۳۲۴
سرمایش به طریق هوارسانی	۳۲۷
فن‌های گردش‌دهنده	۳۲۹
سرمایش تبخیری در مقایسه با سرمایش به طریق هوارسانی	۳۲۹
سرمایش تبخیری صنعتی	۳۳۱
سرمایش فضا، اتاق یا محل	۳۳۲
سیستم‌های ایستگاهی مرکزی	۳۳۸
سرمایش نقطه‌ای یا شخصی (فردی)	۳۳۹
دهانه‌های خروجی سرمایش نقطه‌ای	۳۴۲
لوازم جانبی سرمایش نقطه‌ای	۳۴۷
یک حالت خاص	۳۴۸
قواعد سرمایش تبخیری در صنعت	۳۴۹
طراحی سیستم سرمایش	۳۵۰
آسایش از طریق سرمایش فضا	۳۵۲
آسایش از طریق سرمایش نقطه‌ای	۳۵۳
سیستم‌های ترکیبی	۳۵۴
آینده	۳۵۵
فصل ۱۴: سرمایش تبخیری کارخانجات نساجی	۳۶۱
تاریخچه	۳۶۱
سیستم‌های رطوبت زن کارخانجات نساجی مقدماتی	۳۶۲
رطوبت‌زنی مستقیم	۳۶۳
کانال‌های مرطوب	۳۶۶
رطوبت‌زنی غیر مستقیم	۳۶۹
مصرف توان اتمیزه‌سازی	۳۷۱
تبدیل به سرمایش تبخیری	۳۷۱

۳۷۳	.....	سرمايش كانال مرطوب
۳۷۴	.....	سرمايش كانال خشك
۳۷۵	.....	داره‌هاى پارچه‌بافى جديد
۳۷۵	.....	منسوجات جديد
۳۷۵	.....	سرمايش تبخيرى ايستگاهى مركزى
۳۷۷	.....	عملکرد سرمايش
۳۸۱	.....	مشكلات رايج سرمايش كارخانه نساجى
۳۸۲	.....	گرم‌مايش
۳۸۲	.....	كارخانجات نساجى تكميل كننده
۳۸۳	.....	تخليه موضعى
۳۸۵	.....	تغذيه هواى جبرانى
۳۸۶	.....	سرمايش تبخيرى كارخانجات نساجى تكميل كننده
۳۸۶	.....	گرم‌مايش كارخانجات نساجى تكميل كننده
۳۸۷	.....	آينده كارخانجات نساجى
۳۸۸	.....	سرمايش تبخيرى غير مستقيم
۳۹۰	.....	پرسش‌هاى دوره‌اى
۳۹۳	.....	فصل ۱۵: سرمايش ماكيان و حيوانات
۳۹۴	.....	سرمايش حيوانات
۳۹۵	.....	سرمايش خوك
۳۹۶	.....	سيستم‌هاى سرمايش خوك
۳۹۷	.....	كنترل‌ها
۳۹۸	.....	سرمايش خوك در هواى بيرون
۴۰۰	.....	سرمايش گاو
۴۰۱	.....	نتايج اقتصادى
۴۰۲	.....	گاودارى و موارد مشابه
۴۰۴	.....	سرمايش مرغدارى

نیازهای سرمایش.....	۴۰۵
نتایج کلی.....	۴۰۶
آزمایش کولر آبی.....	۴۰۷
آگزوزفن‌ها.....	۴۰۸
آزمایش شکاف.....	۴۱۰
نتایج اقتصادی.....	۴۱۲
کاربرد جاری کولر آبی.....	۴۱۲
سیستم‌های جایگزین.....	۴۱۳
سالن‌های مخصوص نگهداری حیوانات.....	۴۱۴
گرمایش و تهویه نظام‌مند.....	۴۱۵
سیستم‌های صرفاً هوارسان.....	۴۱۹
سرمایش تبخیری برای سالن‌های خاص نگهداری حیوانات.....	۴۲۱
سایر حیوانات.....	۴۲۳
سرمایش خوک.....	۴۲۴
سرمایش گاو.....	۴۲۵
سرمایش مرغداری.....	۴۲۵
سالن‌های نگهداری از حیوانات.....	۴۲۶
فصل ۱۶: سرمایش گلخانه‌ها.....	۴۲۷
گوجه فرنگی.....	۴۲۸
سایر گیاهان خوراکی.....	۴۲۹
مزایای ویژه.....	۴۳۰
پرورش گل.....	۴۳۱
سیستم‌های سرمایش گلخانه.....	۴۳۲
سیستم‌های پانل دیواری و فن.....	۴۳۵
پدهای دیواری.....	۴۳۵
اثرات دما.....	۴۴۰

۴۴۱	..... گرمایش و هوارسانی
۴۴۲	..... کنترل‌ها
۴۴۴	..... ذخیره و فرآوری غذا
۴۴۵	..... سیب زمینی
۴۴۶	..... مرکبات
۴۴۸	..... سایر محصولات
۴۴۸	..... پرسش‌های دوره‌ای
۴۵۱	..... فصل ۱۷: تعیین ظرفیت و اندازه کولر مستقیم
۴۵۲	..... اندازه‌گیری عملکرد
۴۵۲	..... یکاهای پیشنهادی برای ارزیابی کولر تبخیری
۴۵۳	..... عملکرد سرمایه‌اش از طریق توزین
۴۵۴	..... گرمای محسوس دریافت شده
۴۵۶	..... محاسبات متعارف
۴۵۷	..... یکاهای ارزیابی (تعیین ظرفیت) تنظیم شده بر حسب آب و هوا
۴۵۸	..... اقتصاد و مصرف توان
۴۵۸	..... EER، SEER و EERهای تبخیری مستقیم
۴۵۹	..... EERهای سرمایه‌اش هوا یا دستگاه (ماشین) و واحد سرمایه‌اش تبخیری
۴۵۹	..... ارزیابی کولر مستقیم
۴۶۱	..... مقایسه کولرها
۴۶۱	..... سرمایه‌اش مفید و آسایش
۴۶۵	..... نمودار سرمایه‌اش مفید
۴۶۶	..... شرایط آسایش
۴۶۷	..... ورود هوای شسته شده به اتاق
۴۶۸	..... کاربردهای ویژه
۴۷۰	..... تعیین اندازه کولر به صورت خام
۴۷۲	..... تعیین اندازه بهتر کولر

۴۷۴	.....	بهترین روش تعیین اندازه پیشنهادی برای کولر
۴۷۵	.....	افزایش دمای هوای شسته شده داخلی
۴۷۶	.....	اندازه کولر مربوط
۴۷۷	.....	کاربرد و تعیین اندازه کانال
۴۷۸	.....	برآورد مصرف توان (برق)
۴۷۸	.....	مسئله تشریحی تعیین اندازه
۴۸۱	.....	پرسش‌های دوره‌ای
۴۸۷	.....	فصل ۱۸: نصب کولر تبخیری مستقیم
۴۸۷	.....	مکان کولر
۴۸۸	.....	کولرهای خانگی
۴۹۲	.....	ساختمان‌های تجاری
۴۹۵	.....	طراحی کانال
۴۹۸	.....	اتصال به سیستم‌های گرمایشی
۴۹۹	.....	اهداف توزیع هوای شسته شده
۵۰۰	.....	خروجی‌های سقفی
۵۰۲	.....	دریچه‌های خروجی دیواری
۵۰۴	.....	سیستم‌های پلنوم سالنی
۵۰۵	.....	سیستم‌های پلنوم زیرزمینی
۵۰۵	.....	دیفیوزرهای واقع در پایین دیوار خارجی
۵۰۵	.....	سیستم‌های سرمایه‌ش تابشی تبخیری مستقیم
۵۰۶	.....	نصب‌های پنجره‌ای
۵۰۶	.....	تاثیر توزیع هوای شسته شده بر تعیین اندازه کولر
۵۰۷	.....	حرکت داخلی هوای شسته شده
۵۰۸	.....	تخلیه هوای شسته شده به بیرون
۵۰۹	.....	کانال‌های رو به بالا
۵۱۰	.....	عایق‌سازی ساختمان

۵۱۱	تابش آفتاب
۵۱۳	کنترل‌ها
۵۱۴	پرسش‌های دوره‌ای
۵۱۷	فصل ۱۹: پیش‌سردکن‌های کندانسورهای برودتی
۵۱۷	مشکلات بازده کمپرسور
۵۱۸	ارتقای بازده کمپرسور
۵۱۹	پیش‌سردکن‌های هوای کندانسور
۵۲۱	پیش‌سردکن‌های برودتی تجاری
۵۲۴	پیش‌سردکن‌های کندانسورهای تهویه مطبوع
۵۲۴	پیش‌سردکن‌های موجود و صرفه‌جویی در انرژی
۵۳۰	کندانسورهای بسیار کوچک
۵۳۲	پیش‌سردکن‌های خورشیدی
۵۳۵	فصل ۲۰: سیستم‌های سرمایش تبخیری غیرمستقیم
۵۳۵	تاریخچه
۵۳۷	سیستم ساده برج و کویل با سطح خشک
۵۳۹	مشکلات مربوط
۵۴۱	سیستم‌های سرمایش بازتاب با سطح خشک
۵۴۵	سیستم سرمایش غیرمستقیم گافورد
۵۴۸	سیستم‌های مبدل حرارتی صفحه‌ای
۵۵۱	سیستم چرخ ذخیره حرارت پنینگتون
۵۵۴	سیستم‌های سرمایش لوله‌ای غیرمستقیم
۵۵۵	سرمایش غیرمستقیم دو مرحله‌ای
۵۵۵	مزایای مرحله بندی
۵۵۶	مراحل ثانویه تبخیری مستقیم
۵۵۸	سرمایش دو مرحله ای کِنِدی
۵۵۹	سرمایش تابشی غیرمستقیم

۵۶۵	..... فصل ۲۱: سرمایه‌های غیرمستقیم مدرن از نوع صفحه‌ای
۵۶۵	..... اصطلاحات و واژه‌ها
۵۶۶	..... مرحله‌بندی و تطبیق اقلیمی
۵۶۷	..... تحقیقات انجام شده توسط مولف
۵۶۹	..... پیشینه نوع صفحه‌ای
۵۶۹	..... یک کولر مدرن صفحه‌ای
۵۷۴	..... یک کولر صفحه‌ای دیگر
۵۷۶	..... کولرهای صفحه‌ای استرالیایی
۵۷۷	..... سطوح فرورفته
۵۷۷	..... عملکرد
۵۷۹	..... کولرهای پسکاد
۵۸۰	..... طراحی و عملکرد آنها
۵۸۵	..... یک کولر صفحه‌ای جدید
۵۸۵	..... صفحه‌های آن
۵۹۰	..... تواندهی خورشیدی
۵۹۱	..... جلوگیری از رسوب
۵۹۳	..... پرسش‌های دوره‌ای
۵۹۷	..... فصل ۲۲: سایر سرمایه‌های غیر مستقیم نوین
۵۹۷	..... سیستم‌های ساده برج و کویل
۶۰۱	..... سیستم‌های غیر مستقیم حلقه باز
۶۰۳	..... سیستم‌های سرمایه‌های ذخیره شده برج خنک‌کن
۶۰۳	..... کولرهای غیر مستقیم لوله‌ای
۶۰۸	..... عملکرد چند مرحله‌ای
۶۱۰	..... عملکرد جغرافیایی
۶۱۵	..... یک کولر غیر مستقیم لوله‌ای دیگر
۶۲۰	..... یک کولر غیر مستقیم لوله‌ای عمودی

کاربردها و عملکرد.....	۶۲۳
عملکرد پیش سرمایه‌ش.....	۶۲۵
صرفه‌جویی از طریق مرحله‌ای شدن با سرمایه‌ش برودتی.....	۶۲۶
کولرهای چرخ ذخیره گرمایی.....	۶۲۸
چرخ‌های تبادل حرارت.....	۶۲۹
مشکلات ناشی.....	۶۳۰
سرمایش غیر مستقیم از نوع چرخ.....	۶۳۱
سرویس بازیابی حرارت زمستانی.....	۶۳۵
پرسش‌های دوره‌ای.....	۶۳۷
فصل ۲۳: تجربیاتی در زمینه سرمایه‌ش غیر مستقیم.....	۶۴۱
سرمایش غیرمستقیم با بستر سنگی.....	۶۴۱
اندازه بستر.....	۶۴۲
سرمایش بسترهای سنگی.....	۶۴۴
زمان پر (شارژ) کردن.....	۶۴۴
سرمایش اتاق‌ها.....	۶۴۴
یک سیستم دو مرحله‌ای.....	۶۴۶
ارزیابی.....	۶۴۶
یک سیستم نیمه پیوسته.....	۶۴۷
یک سابقه استرالیایی.....	۶۵۰
سرمایش غیرمستقیم غیرفعال.....	۶۵۱
سیستم استخر خنک.....	۶۵۱
ستون‌های آب.....	۶۵۲
گردش آب.....	۶۵۳
عملکرد.....	۶۵۳
ارزیابی.....	۶۵۵
سرمایش غیرمستقیم دسیکانت.....	۶۵۵

۶۵۶	خشک‌کن‌ها
۶۵۷	چرخه‌های باز و بسته
۶۵۷	چرخ‌های خشک‌کن (دسیکانت)
۶۵۸	استفاده در سرمایش تبخیری
۶۵۹	فرآیند خشک کردن
۶۶۰	بازیابی (احیا)
۶۶۲	سرمایش هوای داغ و خشک
۶۶۲	چرخه سرمایش اصلی
۶۶۲	اتصال خورشیدی
۶۶۳	عملکرد
۶۶۷	آینده
۶۶۸	در بازار
۶۶۹	پرسش‌های دوره‌ای
۶۷۳	فصل ۲۴: عوامل اقتصادی سرمایش تبخیری
۶۷۴	نرخ بازده انرژی EER
۶۷۴	گزارش Gordian
۶۷۹	عوامل اقتصادی سایر کولرهای مستقیم
۶۸۰	معضل مقایسه هزینه
۶۸۰	روش مقایسه
۶۸۴	محاسبات نمونه: سرمایش مستقیم
۶۹۱	صرفه‌جویی در اوج بار تابستانی
۶۹۵	پرسش‌های دوره‌ای
۶۹۹	پیوست‌ها

فصل ۱

مقدمه

تهویه مطبوع عبارت از کنترل هم‌زمان دما، رطوبت، تمیزی و توزیع هوا در داخل فضاهای محصور است. این کتاب اساساً در مورد سرمایه‌ش بوده و شامل فرآیندهایی می‌شود که بر روی عوامل درگیر موثر هستند.

تهویه مطبوع تبخیری عبارت از سرمایه‌ش هوا از طریق تبخیر آب است. وقتی آب مستقیماً در هوا تبخیر می‌شود و ضمن سرمایه‌ش آن را مرطوب می‌سازد به آن سرمایه‌ش تبخیری **مستقیم** گفته، که روشی قدیمی‌تر و رایج‌تر است. وقتی هوای خنک شونده جدای از فرآیند تبخیر است و در نتیجه طی سرمایه‌ش هوا را مرطوب نمی‌سازد به آن سرمایه‌ش تبخیری **غیرمستقیم** گویند. این روش از حدود ۶۰ سال پیش کشف شده و هنوز نسبتاً ناشناخته است.

اکثر روش‌های دیگر سرمایه‌ش در دوران اخیر پیشرفت علمی بشر به وجود آمده و به شکل نسبتاً کاملی مورد تحلیل، تدوین و آموزش قرار گرفته‌اند؛ ولی سرمایه‌ش تبخیری در دوران پیش از پیشرفت‌های علمی، که فرآیندهای طبیعی کم‌تر مطالعه می‌شد، زاده شده‌است. رونق این روش بیشتر در نواحی صحرایی داغ و کم جمعیت بود که به دلیل انزوا مانع از تحلیل و تفسیر آن می‌شد. این روش در مناطق پرجمعیت‌تر و معتدل ساحلی، که در نشر و تحقیقات علمی پیشرو هستند، تقریباً کارایی نداشت. بنابراین به نظر می‌رسد عواملی چون قدمت پیدایش، سادگی ظاهری و طبیعت مکان‌هایی که به صورت سنتی از آن استفاده شده‌است مانع از انجام تحقیقات علمی در مورد سرمایه‌ش تبخیری شده‌بود.

بدین ترتیب، این صنعت از متون فنی مرتبط به دور افتاد. در ۱۹۵۸، که حداقل ۱,۲۵۰,۰۰۰ کولر فروخته شد، در **راهنمای ۱۲۷۲** صفحه‌ای انجمن آمریکایی مهندسان گرمایش و تهویه مطبوع (که اینک انجمن آمریکایی مهندسان گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع (ASHRAE) نامیده می‌شود). تنها یک نیم صفحه، و بدون هیچ جدول یا داده‌ای، به سرمایش تبخیری اختصاص یافت. تنها در سال ۱۹۶۱ و پس از سه سال در این **راهنما** یک فصل کامل به این روش اختصاص داده شد.

در ۱۹۶۳، به استثنای جزوات و دفترچه‌های راهنما، تالیف این کتاب در این حوزه به عنوان اولین محسوب شد. پس از تالیف، این روش مکانیکی ارزان و موثر تهویه مطبوع سرمایش تبخیری نام گرفت و انتشار این کتاب موجب پیشرفت علمی در این حوزه شد.

در دهه ۱۹۷۰، که بهای برق و نرخ بهره افزایش یافته و تورم قیمت سیستم‌های برودتی را تحت تاثیر قرار داد، سرمایش تبخیری ترقی خود را از سر گرفت. از آن پس فروش و نصب این سیستم افزایش یافته و این کتاب بازتابی از این تمایل رو به رشد در سراسر جهان است.

از این به بعد احتمالاً سرمایش تبخیری به رقابت خود با تهویه مطبوع برودتی ادامه خواهد داد. در اثر افزایش سطح دستمزد و رابطه معکوس بین دماهای بالا و بهره‌وری انسان، بازارهای فوق‌العاده‌ای برای سرمایش و تهویه مطبوع ساختمان‌های صنعتی پدید آمده‌است. یک قاعده قدیمی و حاکم در مورد بهره‌وری انسان این است که به ازای هر درجه افزایش دما از 70°F ، بهره‌وری ۲ درصد کاهش می‌یابد (یعنی $3/6\%$ در هر درجه بالاتر از $21/1^{\circ}\text{C}$) و به ازای هر درجه افزایش دما از 90°F به بالا نیز بهره‌وری ۳ درصد کاهش می‌یابد (یعنی $4/8\%$ در هر درجه بالاتر از $32/2^{\circ}\text{C}$).

در ۱۹۵۶ در ایالات متحده تقریباً ۶۰۰ میلیون فوت مربع (۵۵/۷ میلیون متر مربع) دفاتر و ادارات و ۱۲ میلیارد فوت مربع (۱/۱۱ میلیارد متر مربع) کارخانه، کارگاه، واحد تولیدی و ... با فضای غیر خنک وجود داشت. از آن پس اکثر این فضاها خنک شده ولی رشد صنعتی می‌تواند موجب تزايد سطوح خنک‌نشده شود. بسیاری از واحدهای تولیدی استطاعت ایجاد سرمایش مکانیکی را نداشته و نیاز به تهویه ارزان دارند.

به علاوه، افزایش قیمت‌ها و این واقعیت که اینک سرمایش غیرمستقیم مرحله‌ای در هر جایی به جز مناطق ساحلی، تقریباً آسایشی معادل با سیستم‌های برودتی را تامین می‌کنند نوید این را می‌دهد که بازار صنعتی به تدریج در دامن این سیستم اقتصادی قرار خواهد گرفت. در صورت تداوم افزایش قیمت‌ها که اکثر شاخص‌ها موید آن است، بیشتر ادارات و ظرفیت‌های برودتی بالا را می‌توان به سیستم تبخیری تبدیل کرد.

متاسفانه، کمبود زیادی در وجود اطلاعات (داده) در حوزه سرمایه‌ش تبخیری وجود داشته و خطاها و ناکارآمدی بزرگی نیز در طی ساخت، فروش و نصب آن‌ها برقرار است. از آن جا که تنها حقایق می‌تواند جایگزین قواعد کلی، سخنان ناصحیح، شایعات و اطلاعات غلط شود، هدف این کتاب تا حد ممکن ارائه دانش عینی در زمینه سرمایه‌ش تبخیری است.

حذفیات

در این کتاب از دو موضوع چشم‌پوشی شده زیرا در متون استاندارد به صورت کامل تحت پوشش قرار می‌گیرند: محاسبه بار سرمایه‌ش (برودتی) و طراحی کانال. محاسبات معمول مربوط به این موضوعات، به استثنای موارد زیر، در مورد سرمایه‌ش تبخیری نیز کاربرد دارد:

به دلیل فشار هوای مثبت داخل ساختمان که توسط فن‌ها ایجاد می‌شود، مثل اغلب کولرهای دارای فن و دمنده، هیچ بار سرمایه‌ش در اثر نفوذ هوای گرم خارجی رخ نمی‌دهد.

بارهای سرمایه‌ش ناشی از نفوذ هوا اساساً در هنگامی روی می‌دهد که اگزوز فن‌های بزرگ موجب فشار هوای منفی در داخل ساختمان می‌شود، مثل اکثر کارخانجات نساجی، واحدهای صنعتی، محل نگهداری حیوانات، مرغداری‌ها، گلخانه‌ها و غیره.

از طریق آب، شاخ و برگ گیاه، پوست انسان یا حیوان، یا تنفس هیچ بار سرمایه‌ش در اثر تبخیر عادی رطوبت در هوای داخل ساختمان ایجاد نمی‌شود. در واقع همواره بخارات حاصل توسط هوای متحرک کولرها، بدون موازنه حرارتی، به بیرون رانده می‌شوند.

کانال‌های سرمایه‌ش تبخیری معمولاً بسیار ساده‌تر، کوتاه‌تر، مستقیم‌تر و بزرگ‌تر از کانال‌های سیستم‌های گرمایشی یا سرمایه‌ش برودتی هستند. طراحی آن‌ها عادی و بدون پیچیدگی است.

علائم اختصاری

در فصول بعدی از علائم اختصاری استاندارد زیر استفاده خواهد شد:

abs	مطلق
pH	یکای اسیدیته
amp	آمپر
avg	متوسط (میانگین)
Btu	یکای گرمای بریتانیایی
Btuh	یکای گرمای بریتانیایی در ساعت
Btum	یکای گرمای بریتانیایی در دقیقه
cu	مکعب
cfm	فوت مکعب در دقیقه
F deg	درجه، فارنهایت
C deg	درجه، سلسیوس (سانتیگراد)
dpt	نقطه شبنم
EER	نسبت (نرخ) بازده انرژی
fpm	فوت در دقیقه
fps	فوت در ثانیه
ft	فوت
gal	گالن
gpm	گالن در دقیقه
H	مقدار گرما یا انتالپی
hp	اسب بخار
hp-hr	اسب بخار-ساعت
hr	ساعت
sh	رطوبت، مطلق یا ویژه
rh	رطوبت، نسبی

اینچ	in.
اینچ آب نسبی	in. w.g.
کیلو وات	kw
کیلو وات ساعت	kwh
دمای میانگین تابشی	MRT
مایل در ساعت	mph
دقیقه	min
اونس	oz
پوند	lb
پوند بر فوت مربع	psf
پوند بر اینچ مربع	psi
رطوبت نسبی	rh
دور در دقیقه	rpm
دور در ثانیه	rps
ثانیه	sec
سنگینی ویژه	sp gr
گرمای ویژه (حرارت مخصوص)	sp ht
حجم ویژه (مخصوص)	sp vol
اینچ مربع	sq in.
فوت مربع	sq ft
دما، خشک (فارنهایت)	F یا dbt
دما، موثر	ET
دما، مرطوب (تر)	wbt
ولت	V
وات	W
وات ساعت	Wh

علائم اختصاری SI (متریک)

سانتی‌متر	cm
سانتی‌متر مکعب	cc
مترمکعب	m ³
مترمکعب در دقیقه	m ³ /min
مترمکعب در ثانیه	m ³ /s
درجه سلسیوس (سانتی‌گراد)	deg C
درجه، اختلاف دما	deg
گرم	gr
ساعت	h
ژول	J
کیلوگرم	kg
کیلوژول	kJ
کیلومتر	km
کیلوگرم در دقیقه	kg/min
کیلوگرم در ثانیه	kg/s
کیلوژول در دقیقه	kJ/min
کیلوژول در ثانیه	kJ/s
کیلومتر در ساعت	kmh
کیلومتر در دقیقه	km/min
کیلومتر در ثانیه	km/s
کیلو وات	kW
کیلو وات در ساعت	kW/h
لیتر	l
لیتر در دقیقه	l/min
لیتر در ثانیه	l/ s

متر	m
متر در دقیقه	m/min
متر در ثانیه	m/s
میلی‌متر	mm
توان، مکانیکی یا الکتریکی	kW
فشار، درجه آب یا پاسکال	Pa
ظرفیت یا تن تبرید	kW
سانتی‌متر مربع	cm ²
متر مربع	m ²
دما، خشک (سلسیوس)	C یا dbt
دما، موثر	ET
دما، مرطوب	wbt
وات	W
وات-ساعت	Wh

ضرایب تبدیل انگلیسی-متریک

به جدول پیوست (انتهای کتاب) مراجعه کنید.

فصل ۲

تاریخچه سرمایه‌گذاری تبخیری

تهویه مطبوع تبخیری در طبیعت در مجاور آبشارها، رودخانه‌ها، بر فراز دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها، در زیر شاخ و برگ انبوه گیاهان و بر روی سطوح مرطوب، به ویژه، پوست انسان رخ می‌دهد. احتمالاً اغلب انسان‌های اولیه آن را درک کرده و در بسیاری مناطق و دوره‌ها از آن بهره‌برداری مفید شده‌است. توسعه اولیه این روش در خاور نزدیک صورت گرفت که دارای آب و هوای گرم و خشک بوده تا شرایط مطلوب و پرانگیزه‌ای را ایجاد کند.

سرمایش تبخیری اولیه

سرمایش تبخیری برای مصریان باستان شناخته شده بود. در دیوار نگاره‌های مربوط به ۲۵۰۰ سال پیش از میلاد مسیح بردگانی به تصویر کشیده شده‌اند که برای خنک کردن سیوهای آب آن‌ها را باد می‌زدند. این ظروف به اندازه کافی متخلخل بوده تا با مرطوب‌سازی سطوح موجب تسهیل فرآیند شوند.

در یک نقاشی دیواری در هرکولانیوم^۱ مربوط به حدود سال ۷۰ میلادی یک بطری آب چرمی ترسیم شده که از آن برای خنک‌سازی آب آشامیدنی استفاده می‌شد. ندیمه‌های فرانسیس اول^۲ در جستجوی کوزه‌های سفالی که آب را خنک‌تر و سالم‌تر نگه می‌داشتند به به پرتقال اعزام شدند.

نظیر این روش سرمایه‌ش تبخیری در غذاخوری‌های صحرائی سربازان، در دلوه‌های برزنتی مورد استفاده در جنوب غربی ایالات متحده و در قابلمه‌های سفالی^۳ و متخلخل مورد استفاده سرخ‌پوستان آمریکایی و مکزیکی‌ها رخ می‌دهد.

در هندوستان از تبخیر حتی برای تولید یخ نیز استفاده می‌شد. بدین منظور بسترهای کم عمقی در زمین تا یک فوت (۳۰/۵ cm) با عایقی از کاه پر شده و تغارهای سفالی بر روی آن قرار می‌گرفت. در شب‌های سرد و آرام، حتی وقتی دما به زیر ۴۳ F (۶/۱ C) نمی‌رسید یخی به ضخامت ۱/۵ in (۳/۸ cm) تشکیل می‌شد. تبخیر و تابش به آسمان شبانه موجب تبرید می‌شد. مسافران سرزمین پارس از تولید یخ در پشت دیوارهای بلندی به نام یخچال^۴ گزارش داده‌اند که از شرق به غرب امتداد داشته و نور خورشید را از استخرهای کم عمق دور نگه می‌داشت تا در شبانگاه آب یخ بزند.

خانه‌ها و ساختمان‌های قدیمی ایران بیشتر به صورت تبخیری خنک می‌شوند. برای فرار از گرمای خورشیدی، اتاق‌ها تا نیمه درون زمین قرار داشته و دارای حوض‌های آب جاری و برج‌های بادگیری هستند که بالای آن باز بوده تا باد را از بالا به پایین آورده و از روی سطح آب واقع در اتاق عبور دهد. مخازن آب آشامیدنی نیز به صورت مشابه خنک می‌شدند. هم پارسیان و هم سرخپوست‌های آمریکایی چادرهای خود را با نمد می‌پوشاندند تا با خیس کردن آن ایجاد خنکی کنند.

مردم هند هنوز هم در تابستان‌ها، دره‌های رو به باد را با دره‌ایی به نام tatties تعویض می‌کنند که شبیه دره‌های توری است که با علف خشک khus-khus (نوعی گیاه معطر- مترجم) پوشیده شده‌است. این درها به صورت دستی با استفاده از آب مرطوب نگه داشته شده ولی امروزه برخی از آن‌ها دارای تشت آب و پمپ هستند. برخی از آن‌ها متناوباً توسط محفظه‌های آب (تغار) به صورت متعادل از بالا خیس می‌شوند. آب از طریق لوله‌هایی به صورت قطره‌ای به تغار وارد شده تا این که واژگون شده و لایه علفی را از آب اشباع سازد.

1- Herculaneum:

شهر رومی کوچک اما ثروتمندی بر کناره خلیج ناپل در کامپانیای امروزی در جنوب ایتالیا بود که به‌هنگام فوران آتشفشان ووزو در سال ۷۹ میلادی همراه با شهر معروف و باستانی پمپئی نابود شد(مترجم).

۲ - نخستین پادشاه فرانسه(فرانسوای اول)

3- Ollas

4- Ice wall

یک کولر هوای تبخیری هندی دیگر *thermantidote* نام دارد. این کولر دارای یک قاب چرخ مانند دوار است که با علف *khus-khus* پوشانده شده و نظیر *tatties* خیسانده شده و در محل چارچوب در (درگاه) می‌چرخد.

پیشگامان غربی ما اغلب غذا را در جعبه‌های با پوشش پارچه‌ای یا خنک‌کن‌های غذا حفظ می‌کردند. تشتی در بالا یا پایین، از طریق موینگی، موجب مرطوب شدن پارچه می‌شد. تعداد زیادی از این جعبه‌ها در بیرون پنجره آشپزخانه‌ها نصب می‌شد و در نتیجه میزان تبخیر توسط جریان باد افزایش می‌یافت. چند روش ساده دیگر برای خنک سازی عبارتند از پوشاندن پنجره‌های رو به باد با کرباس مرطوب، یا آویزان کردن پرده‌های نمناک در درگاه یا استفاده از ملحفه‌های خیس برای خواب خنک‌تر.

مولف این کتاب ایوانی را در تگزاس مشاهده کرده که بخشی از آن توسط آب در حال ریزش احاطه شده بود. لوله‌های سوراخ‌دار فوقانی اجازه می‌داد تا پرده‌ای از قطرات به میان مناطقی بریزد که در معرض نسیم باد بوده و در ادامه بر روی بوته‌زارها بریزد. یک وسیله مشابه در باغ پتر کبیر در سن پترزبورگ قدیم گزارش شده است. در این وسیله درختی چنان لوله‌گذاری شده بود که آب در حال ریزش آن را احاطه کرده ولی نیمکت‌های مجاور تنه خود را خیس نمی‌کرد.

احتمالاً لئوناردو داوینچی نخستین کولر هوای مکانیکی را ساخت تا خلوتگاه همسر ولی نعمت خویش را خنک کند. این کولر یک چرخ آب توخالی بود که در اثر چرخش متوالی ناشی از جریان آبی که در محفظه‌های آن بالا و پایین می‌رفت، هوا از بین چرخ و جریان عبور می‌کرد. آبی که وارد چرخ می‌شد به درون هوا پاشیده می‌شد و آن را خنک و تمیز نموده و سپس آن را از طریق شیرهای چوبی به بیرون محور توخالی و به داخل خلوتگاه می‌فرستاد.

سرمایش تبخیری نوین

در آمریکا، سرمایه‌ش تبخیری دارای دو منشا است: شرقی و غربی. در بین سال‌های ۱۹۰۰ و ۱۹۳۰ هواسازها و سرمایه‌ش تبخیری کارخانجات نساجی، به صورت گسترده‌ای برای صنایع مستقر در نیوانگلند و کرانه‌های ساحلی جنوب، در شرق آمریکا اختراع شد. به نظر می‌رسد که این اختراعات هیچ سابقه‌ای در دوران باستان نداشته‌اند.

واژه تهویه مطبوع نخستین بار توسط مهندس *Stuart W. Cramer* در شارلوت کارولینای شمالی، طی گردهمایی اپراتورهای کارخانه نساجی، در ۱۹۰۶، مورد استفاده قرار گرفت.

سپس، پیش از ۱۹۳۰، دو نوع مختلف از کولرهای تبخیری غیرمستقیم در آریزونا و کالیفرنیا عرضه شد که بسیار شبیه کولرهای مستقیم آبی-پرتابی^۱ بود.

کولرهای غیرمستقیم، بی تردید با الهام از عملکرد موفق برج‌های خنک‌کن و نوع مستقیم توسط شیوه‌های بومی بر گرفته شده از سرخ‌پوستان و مکزیکی‌ها ابداع شدند.

سیستم‌هایی که در مناطق مختلف به صورت جداگانه ابداع شدند با هم تفاوت داشتند. شرق آمریکا سرمایه‌های کارخانجات نساجی و هواشوی‌ها سلولی بهتری را توسعه داد. غرب آمریکا نیز کولرهای آبی-پرتابی و با پد دوار را ابداع کرده و کولرهای آبی را به تولید انبوه رساند. انواع شرقی به صورت عمومی برای تصفیه هوا و تمیزسازی هوای کارخانجات استفاده شده و کم‌تر برای سرمایه‌های به کار رفتند در حالی که انواع غربی صرفاً وسایل سرمایه‌ی برای خانه‌ها و ساختمان‌ها باقی ماندند.

سرمایش تبخیری در شرق^۲

در ۱۸۹۹ John Zellweger، اهل سنت لوییس، فن‌های هواسازی را ابداع کرد که پره‌ها و بدنه آن خیس نگه داشته می‌شد تا پره‌ها و غبارهای معلق در هوا (پره‌های هوابرد) را دفع کند. سال بعد در شیکاگو، Robert Thomas هواساز Acme را ارائه داد که در آن هوا از میان پرده‌هایی از آب در حال ریزش جریان می‌یافت.

این نوآوری‌ها توسط اولین هواساز مدرنی که توسط دکتر Willis H. Carrier طراحی شد، جایگزین گردید. وی مهندس ارشد شرکت Buffalo Forge بوده و بعدها بنیانگذار شرکت کریئر (Carrier) شد. این هواساز دارای محفظه‌های افشانه‌ای بود که دارای چند نازل (شیپوره) برای ایجاد افشانه (اسپری) و چند صفحه جداکننده بود که اجازه عبور هوا از میان خود را داده ولی مانع از عبور افشانه و مه پاک‌کننده می‌شد.

این هواسازها ضمن تصفیه هوا آن را خنک و مرطوب می‌ساختند. توان سرمایشی آن‌ها خیلی مشخص یا معلوم نبوده ولی توانایی آن‌ها در رطوبت‌زنی بسیار نوآورانه بود. از آن جا که در صنایع نساجی به رطوبت بالایی نیاز است کارخانه‌های پنبه‌ریسی بازار خوبی برای این هواساز بودند که نخستین آن در ۱۹۰۶ در کارخانه نساجی کرونیکل در بلمونت کارولینای شمالی بود (به فصل ۱۴ مراجعه کنید).

هواسازها سیستم‌های رطوبت‌زنی کارخانجات نساجی را تغییر دادند. این سیستم‌ها شامل افشانه‌های آب چندتایی بودند که از بالا آب را می‌پاشیدند تا هوای خشک داخلی مرطوب شود. اما کنترل این

1- Slinger

۲ - منظور از شرق یا غرب در این کتاب، شرق یا غرب ایالات متحده است (مترجم).

فرآیند ضعیف بوده و رطوبت حاصل نیز غیر قابل پیش‌بینی بود. به علاوه در تابستان‌ها با در نظرگیری تاثیر مضاعف خشک‌کنندگی بارهای گرمایی داخلی و ناشی از خورشید، چند هواساز، هوای خارجی را به اندازه کافی مرطوب می‌کردند تا رطوبت هوای داخل در حد کافی باشد. بدین ترتیب از طریق سعی و خطا، و با استفاده از جریان‌های بزرگ‌تر و نازل (شیپوره)‌های کافی، در ظرفیت‌های مناسب به بازده‌های اشباع تا ۱۰۰ درصد می‌رسیدند.

به منظور تقویت درک، اطلاعات موجود در ۶۷ صفحه از جداول رطوبت سنجی (سایکرومتریک) موسسه کشاورزی، در تهیه اولین نمودارهای رطوبت سنجی استفاده شدند. کریر (Carrier) پیگیر این نمودارها شده و در ۱۹۱۱ فرمول‌های مشهور سایکرومتریک را ارائه داد که مبنای دقیقی برای سرمایش تبخیری و سیستم‌های تهویه مطبوع بعدی بود. بدین ترتیب، سرمایش تبخیری پدر تمامی سیستم‌های تهویه مطبوع امروز است.

موفقیت هواسازها در سرمایش کارخانجات نساجی موجب ایجاد انگیزه در توسعه سیستم سرمایش دیگری شد که بهتر است سیستم سرمایش تبخیری کارخانه نساجی نامیده شود. در این روش از افشانه‌های ریز معمول در کارخانجات قدیمی استفاده می‌شد. این افشانه‌ها هرگز مشارکت عمده‌ای در سرمایش نداشتند زیرا برای حفظ رطوبت داخلی و آب، کارخانجات نساجی به صورت سنتی، در برابر هوای خارج درزبندی می‌شدند. بدون وجود هوای تازه خارجی، این افشانه‌ها بدون انجام سرمایش تنها مرطوب‌سازی می‌کردند. این موضوع برای فرآیند نساجی خوب بود ولی از نظر شرایط کاری انسان‌ها بسیار نامطلوب بود.

در اواخر دهه ۱۹۲۰ کشف شد که فن‌های گردش‌دهنده هوای داخل اجازه می‌دهند تا ذرات آب رطوبت‌زن‌ها به تمامی گوشه‌های کارخانه رسیده، در نتیجه هر گاه طی باز بودن پنجره‌ها هوای تازه وارد می‌شد، این ذرات تبخیر می‌شدند و سرمایش تبخیری رخ می‌داد. صنعت نساجی در فراهم‌سازی آسایش کارکنان از نظر سرمایش پیشرو بوده و یک صنعت پیشگام در تهویه مطبوع برای کل سطح موجود برای تجهیزات تولید است.

به تدریج هواسازی که توسط آب با دماهای مختلف تغذیه می‌شود یک وسیله عمومی برای رطوبت‌زنی، رطوبت‌گیری، گرمایش، سرمایش و تمیزسازی هوا شده و در بیشتر سیستم‌های گرمایش و تهویه مطبوع بزرگ به صورت استاندارد به کار رفت. امروزه برخی از آن‌ها صرفاً برای سرمایش تبخیری استفاده می‌شوند.

در ۱۹۳۵، قیمت و حجم هواسازهای موجود موجب شد که Walter L. Fleisher هواساز ساده و جمع و جوری را ابداع کند که در آن هوا از میان سلول‌های ضخیمی از جنس الیاف شیشه‌ای غیرفشرده

عبور کرده و توسط افشانه‌های کم فشار مرطوب شود. با توجه به حجم و وزن بسیار تقلیل یافته این هواسازها، این دستگاه‌های سلولی جایگزین بسیاری از هواسازهای استاندارد مورد استفاده برای تمیزسازی هوا در واحدهای شیمیایی، ذوب، پالایش، لاستیک‌سازی، نساجی و غیره شده و حتی برخی از آن‌ها برای سرمایه‌ش مطلوب مورد استفاده قرار گرفته شد.

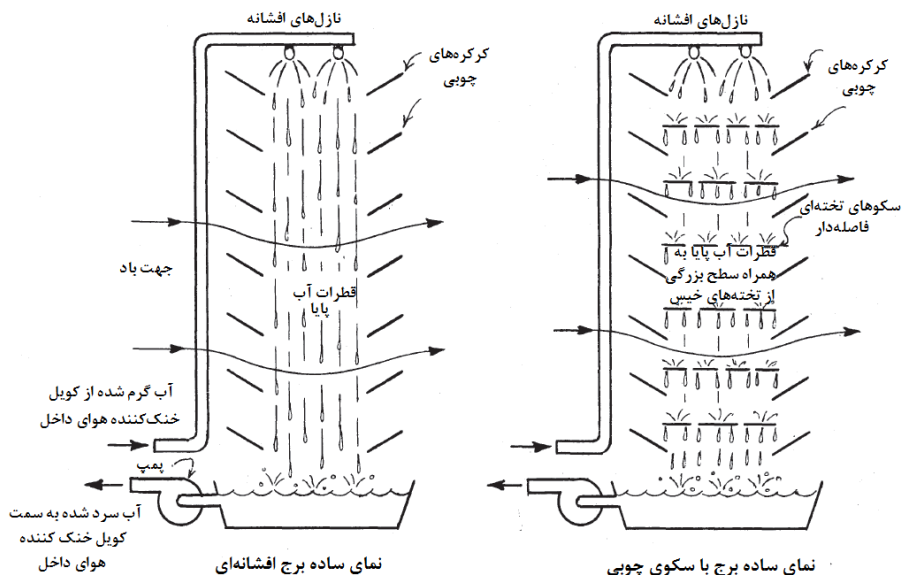
سرمایش تبخیری در غرب

دو دسته دیگر سرمایه‌ش تبخیری در ایالات متحده، عمدتاً در اقلیم‌های نسبتاً خشک آریزونا و کالیفرنیا جنوبی توسعه یافتند که در آنجا برج‌های خنک‌کن مناظری آشنا محسوب شده و صاحبان منازل با آویختن نوارهای پارچه‌ای در دهانه پنجره‌های رو به باد که از طریق تفرهای واقع در پشت پنجره مرطوب می‌شدند هوا را خنک می‌ساختند.

برج‌های خنک‌کن، وسایلی صنعتی برای سرمایه‌ش ارزان آب گردش‌کننده هستند که از طریق تبخیر بخشی از آب که به هوای متحرک خارجی پاشیده می‌شود عمل می‌کنند. سپس از این آب خنک شده، برای خنک‌سازی برخی فرآیندهای داغ، تولید توان یا چگالنده (کندانسور)های تهویه مطبوع‌های برودتی استفاده می‌شود.

گزارش شده که پیش از ۱۹۲۵، محققین در آریزونا آب برج خنک‌کن را به رادیاتور اتومبیل‌ها پمپ کرده تا هوای داخل را خنک کنند. موفقیت این روش فوق‌العاده بود. یک فروشنده رادیاتور در فونیکس به نام Oscar Palmer شروع به ساخت این سیستم کرد. هزاران کولر تبخیری غیرمستقیم در خانه‌ها، فروشگاه‌ها، کافه‌ها، ادارات، هتل‌ها، موسسات، مغازه‌ها و مدارس فونیکس نصب شد. قیمت یک سیستم خانگی به ازای هر اتاق ۲۰۰ دلار بود (به شکل ۱ این فصل مراجعه کنید).

دو سبک متفاوت از کولرهای غیرمستقیم در لوس‌آنجلس توسعه یافتند. در این کولرها از مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای به جای کوپل یا رادیاتور استفاده می‌شد. در موفقیت‌آمیزترین نوع آن‌ها، افشانه‌های آب و دمش‌های هوا از بیرون صفحات فلزی توخالی هدایت شده تا هوای خشکی که از میان آن‌ها عبور می‌کرد را خنک کنند. بدین ترتیب، از آریزونا تا کالیفرنیا، سیستم‌های سرمایه‌ش بر بام بسیاری از فروشگاه‌های بزرگ و زنجیره‌ای نصب شدند. در ۱۹۳۵، یک نمودار تشریحی از این سیستم منتشر شد (به شکل ۲ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۱- طرحواره‌ای از برج‌های خنک‌کن مورد استفاده در کولرهای تبخیری غیر مستقیم اولیه. در خانه‌های چهار اتاقه اغلب به برج‌های خنک‌کن با جریان طبیعی به ارتفاع ۲۰ فوت، عرض ۸ فوت و ضخامت ۴ فوت (۶/۱ × ۲/۴ × ۱/۲ متر) نیاز بود که سمت پهن آن در معرض بادهای تابستانی بوده و دارای پمپ‌های ۳ و ۴ اسب بودند. برج‌های با سکوی چوبی آب را بهتر خنک می‌کردند. گرد و خاک و مواد معدنی محلولی که در آب مخزن بوده و از طریق کویل‌های خنک‌کن هوای اغلب هشت ردیفه گردش می‌کردند رسوبات داخلی را تشکیل داده و به دلیل کاهش کارایی مستلزم پاک‌سازی سالانه توسط اسید بوده و به مرور سیستم را از بین می‌بردند.

اولین کولر مکانیکی تبخیری مستقیم در ۱۹۳۲ پدید آمد که طی آن صاحبان منازل، لباس‌های خیس خود را در پنجره آویزان کرده و از فن‌های برقی بهره می‌بردند. در ۱۹۳۳، هزاران کولر با ساخت خانگی از این نوع در آریزونا وجود داشت. کولرهای اولیه دارای قاب‌های چوبی پوشیده با کرباس بودند که توسط قطرات آب خیس می‌شدند و در بیرون پنجره‌ها نیز نصب می‌گردیدند. موتورهای برقی آن‌ها به فن‌های پره‌ای (پروانه) اتومبیل‌ها مجهز بوده و در آستانه پنجره قرار می‌گرفتند تا هوای خنک را به داخل بدمند. کافه‌ها و آرایشگاه‌ها از اولین استفاده‌کنندگان این کولرها بودند.

پس از آن پدهایی از تراشه چوب جایگزین کرباس شد. محققین، فن را در جعبه‌های جلو بازی قرار می‌دادند که به پدهای ۲ اینچی (۵/۱ سانتی‌متری) ضخیمی از تراشه چوب فشرده که درون توری‌های قفس مرغی قرار داشتند متصل بوده و این پدها توسط لوله‌های سوراخ‌دار مسی خیس می‌شدند. این

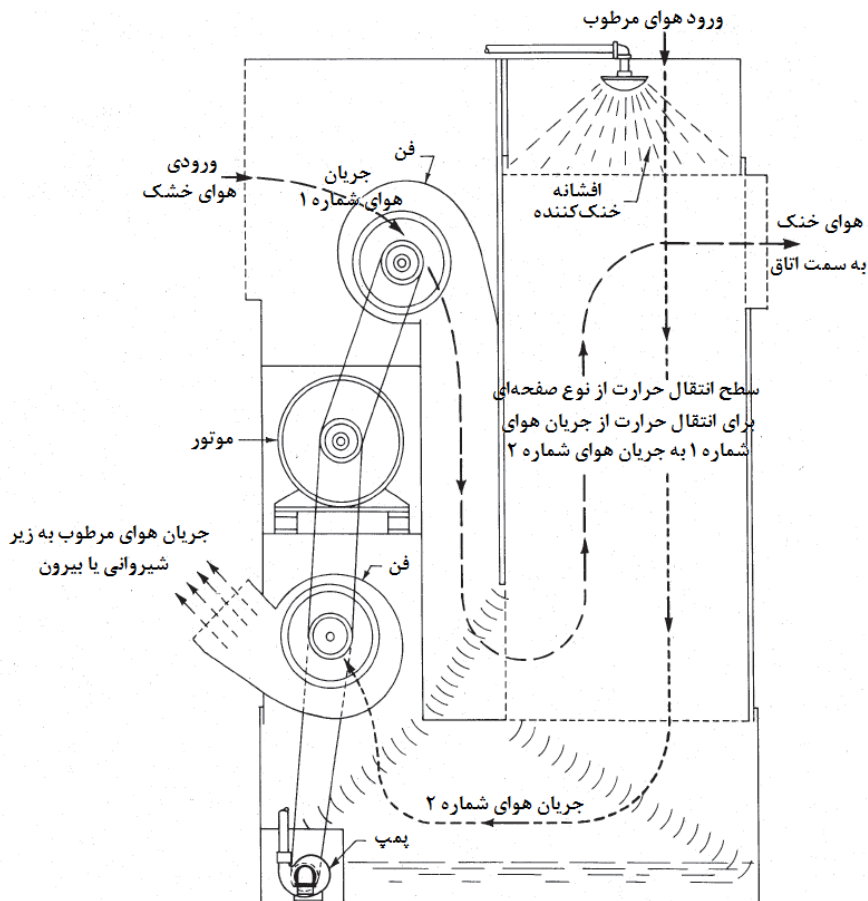
کولرها در پنجره قرار می‌گرفتند. در ابتدا به آنها "جعبه‌های خیس" گفته و پس از آن به نام "کولرهای صحرایی" شناخته شده و در نهایت نیز "کولرهای آبی"^۱ نامیده شدند.

دو استاد دانشگاه آریزونا به نام‌های Paul Thornburg و Martin Thornburg که برادر بودند، آزمایشاتی را برای بهبود طراحی این کولرها انجام داده و دستورالعمل‌های راهنمایی را در سراسر ایالت تکثیر کردند. در ۱۹۳۹، آنها توسط دانشگاه آریزونا مقاله‌ای را تحت عنوان "سرمایش برای خانه‌های آریزونا" منتشر کردند. پس از آن در کالیفرنیا کتابچه‌های مشابهی ارائه شد که مشوق ساخت این کولرها به صورت خانگی یا مغازه‌ای بود.

آغاز تولید انبوه

Al Goettl مهندس ارشد شرکت تولیدی فونیکس، ۴۵ سال بعد یادآور شد که چگونه تولید رسمی کولرهای آبی آغاز شد. در سال ۱۹۳۵، کولرهای آبی دست‌ساز^۲ آن چنان مقبولیت یافتند که بسیاری از افراد از شرکت Southwest Sheet Metal، کارفرمای Al و برادران وی به نام‌های Adam و Gust درخواست نمودند که کولرهای بهتری از جنس فلز بسازند.

1- Drip cooler
2- Homemade



شکل ۲- یک کولر تبخیری غیر مستقیم نوع صفحه‌ای مربوط به دهه ۱۹۳۰. این کولر ساخت کالیفرنیا در فروشگاه‌های زنجیره‌ای و عادی عرضه می‌شد. هوای خشک درون صفحات توخالی آهن گالوانیزه به ضخامت نیم اینچ (۱/۳ cm)، توسط آبی که در خارج آن تبخیر می‌شد، خنک می‌گشت. در ۱۹۵۲، از سطح مرطوبی به مساحت ۲۰ هزار فوت مربع (m^2) (۱۸۵۸) و با توان ۱۹/۵ اسب، ۶۰ تن سرمایش حاصل شد. ورودی روباز هوای مرطوب این امکان را می‌دهد که بدون خاموش‌سازی دستگاه، رسوب روی صفحات توسط برس زوده شود تا عمر دستگاه بیشتر شود. البته، توسعه کولرهای پرتابی و آبی ارزان‌تر، موجب خرابی بازار فروش آن‌ها شد و در ادامه باقیمانده آن نیز توسط سرمایش برودتی جایگزین شد.

در اوایل، در هر نوبت شرکت چهار یا پنج دستگاه می‌ساخت و پس از آن تا ۴۰ دستگاه تولید شد. در آغاز کار این کولرها، جعبه‌های مرطوب فلزی ساده‌ای بودند که فن‌هایی که خود خریدار تهیه می‌کرد را احاطه می‌کردند. سپس، وقتی شرکت امرسون الکتریک شروع به تولید مجموعه‌های فن موتوردار

نمود، Southwest Sheet Metal قادر به فروش هزاران مجموعه کامل کولر از طریق پیمانکاران، فروشگاه‌های لوازم خانگی و کولرسازی‌ها^۱ شد.

سپس برادران Goettl خود وارد این تجارت شده و کولرهای آبی را تولید کردند. در ادامه ایشان با تاجر علاقمندی به نام Gay Wright شریک شدند. وقتی مولف این کتاب در ۱۹۳۷ از آریزونا عبور می‌کرد، تقریباً تمام خانه‌ها از کولرهای آبی استفاده می‌کردند.

در سال ۱۹۳۹ این سه برادر شرکت Goettl Brothers را با شرکت Cecil Wood و دو برادر دیگرشان، جان و بیل، ادغام کرده و برای تولید کولرهای بیشتر شرکت Metal Products را تاسیس کردند.

کولرهای آبی موجب تضعیف فروش سیستم‌های غیرمستقیم برج و کویل بسیار گران قیمت‌تر Oscar Palmer با نام SnoBreeze شده در نتیجه پالمر نیز شروع به ساخت کولرهای آبی نمود.

شاید نصب این کولرهای غیرمستقیم در مقایسه با کولرهای آبی ده برابر گران‌تر بوده و چندین برابر نیز توان بیشتر مصرف می‌کردند. برج‌های خنک‌کن مرتفع و رایج با رانش طبیعی اغلب بد قیافه و دردسرسازترین هستند. تنها در خشک‌ترین آب و هوا است که آن‌ها می‌توانند آسایشی در حد بهترین کولرهای آبی ارائه کنند.

همچنین رادیاتورها یا کویل‌های آبی در برابر آب سخت (دارای املاح) آسیب‌پذیر بوده و در اثر افشانه آب، گرد و خاک در آن محبوس می‌شد. بدین ترتیب لوله‌ها توسط رسوبات سخت و عایق اندود شده و به آرامی کارایی آن‌ها کاهش می‌یافت و تنها طی اسیدشویی سالانه بود که قابل پاک‌سازی بودند که آن نیز می‌توانست منجر به بروز نشتی و تعویض کویل شود.

با رواج کولرهای آبی، این کولرها عملاً از دور خارج شدند. البته همچنان تعدادی برج از نوع coil-shed (کویل پوسته‌ای) یا مبدل‌های حرارتی که به سادگی تمیز شده و آب کویل و برج آن مجزا بوده یا کویل‌های خاص با لوله‌های قابل باز شدن جهت تمیزکاری متناوب مکانیکی وجود داشتند. در کالیفرنیا به دلیل هوا و آب خالص‌تر، تصفیه آب بهتر انجام شده و استفاده از طرح صفحه‌ای، عمر سرمایه‌گذاری غیرمستقیم را کمی طولانی‌تر می‌ساخت.

در عین حال، استفاده از کولرهای تبخیری مستقیم جدید از جنوب غربی آمریکا تا اقلیم‌های خشک شمالی در کانادا و تا استرالیا گسترش یافت. میزان فروش به زودی از یک میلیون دستگاه در سال بیشتر شد که بیشتر آن در فونیکس توسط شرکت Palmer و Wright و شرکت International

Metal Products تولید می‌شد. دیگر تولیدکنندگان عمده در لوس‌آنجلس، دالاس و چند جای دیگر بودند.

اهمیت تاریخی

به دلیل رشد سریع ثروت و جمعیت در بسیاری از مناطق غربی آمریکا، این کولرها اهمیت زیادی یافتند. آن‌ها نه تنها در چند شهر اشتغال ایجاد کردند بلکه به عنوان اولین تهویه مطبوع ارزان، برای نخستین بار داغ‌ترین شهرها و مزارع را به راحتی قابل سکونت ساختند. در نتیجه افزایش بهره‌وری و درآمد ساکنین و مطلوب‌سازی بسیاری از مناطق برای گردشگران شمال کشور، موجب شد که بسیاری از آن‌ها برای اقامت، سرمایه‌گذاری یا طی دوران بازنشستگی به مناطق غربی بیایند.

در نتیجه از نظر تاریخی، سهم کولرهای تبخیری در اسکان مناطق غربی آمریکا در حد مواردی مثل کالسکه‌های مسقف، سلاح‌های خودکار، آسیاب‌های بادی، زین‌های غربی، سیم خاردار و چراغ‌های توری Cleman بود.

تحکیم صنعتی

در نهایت، شرکت McGraw Edison، دو شرکت Wright & Palmer و International Metal Products را در هم ادغام کرد تا بزرگ‌ترین تولیدکننده کولرهای آبی شود. Al Goettl به شرکت تولیدی فونیکس؛ به عنوان دومین تولیدکننده بزرگ، کمک نمود. برادران Goettl به شرکت تهویه مطبوع Goettl تبدیل شده و کولرهای برودتی و تبخیری را به انضمام پمپ‌های حرارتی و آب‌گرم-کن‌های خورشیدی می‌ساختند. پس از سقوط بازار سرمایه‌ش برودتی در کالیفرنیا، شرکت Essick در Air Products در لوس‌آنجلس، که احتمالاً سومین تولیدکننده بزرگ بود، به Little Rock در آرکانزاس نقل مکان نمود. در ۱۹۸۲، شرکت صنایع Arvin شرکت McGraw Edison را خریداری کرد و در نتیجه امروزه Arvin Air Division در راس این صنعت است. احتمالاً چهارمین تولیدکننده کولرهای آبی شرکت Williams Furnace در Colton کالیفرنیا است.

دستاوردها

در طی مرور ایام، سیستم‌های سرمایه‌ش مستقیم جدید بسیاری توسعه یافته‌اند. کولرهای آبی که هنوز در اکثریت هستند، از نوع رومیزی پرتابل تا توان ۷/۵ اسب هستند. آن‌ها هر نوع ساختمان و حتی خودرو را خنک می‌کنند. بسیاری با سرمایه‌ش برودتی ترکیب شده و در مواقعی که هوا اجازه دهد استفاده می‌شوند. برخی دیگر نیز با سیستم‌های گرمایش ادغام شده‌اند.

برای استفاده تجاری، کولرهای موجود که پدهای آن‌ها توسط پمپ‌های آب یا نازل‌های پودرکننده خیس شده یا پدهای دوار آن‌ها در تشت‌های آب خیس می‌شود رایج‌تر هستند.

هواسازهای اولیه شرقی همچنان چندکاره باقی ماندند. آن‌ها در صورت نیاز، به صورت تبخیری یا برودتی، گرما و سرما داده و رطوبت‌دهی و رطوبت‌زدایی می‌کنند. آن‌ها جایگزین اغلب سیستم‌های اولیه کارخانجات نساجی شده و به صورت گسترده‌ای در اغلب صنایع مثل اتومبیل‌سازی به کار گرفته شدند. بر طبق گزارشات، هواسازهای از نوع سلولی به جز برای تعمیر قطعات، تولید نمی‌شوند. کولرهای با ماده واسط صلب جدیدی ساخته شده‌اند که بدون استفاده از فن می‌توانند تا ۱۰۰ فوت (۳۰/۵ m) طول، ۱۲ فوت (۳/۷ m) ارتفاع و ۳ فوت (۰/۹۱ m) ضخامت داشته‌باشند. آن‌ها مثل کولرهای آبی از بالا خیس شده، توان خنک‌کنندگی بالاتری داشته، مقاومت کم‌تری در برابر جریان هوا داشته، عمر پدهای آن‌ها طولانی‌تر بوده و برای تهویه مطبوع دارای پایین‌ترین هزینه سرمایه‌ش هستند.

سرمایش تبخیری غیرمستقیم نیز پیشرفت کرده‌است. سیستم‌های قدیمی برج و کوئل اصلاح شده و برخی از آن‌ها به صورت دستگاه‌های چندمرحله‌ای کوچک است. سیستم‌های از نوع صفحه‌ای در استرالیا، نیوجرسی، آریزونا، کلرادو و چند جای دیگر تولید می‌شوند. در انواع چند لوله‌ای از مبدل‌های حرارتی استفاده می‌شود که شبیه دیگ‌های بخار لوله آتشی طراحی شده و دو فن مورد استفاده، بر روی غلاف‌های پارچه‌ای خیس روی هر لوله می‌دمند. آن‌ها هوای متحرک داخلی را خنک و خشک کرده که می‌تواند توسط سرمایش برودتی، سرمایش تبخیری یا هر دو آن‌ها باز هم خنک‌تر شود. بدین ترتیب مرحله‌بندی اجازه می‌دهد تا در نواحی که سرمایش تبخیری مناسب نیست، با هزینه کم، انواع غیرمستقیم جایگزین سرمایش برودتی شوند.

برخی سیستم‌های غیرمستقیم، در شب هنگام از کولرهای مستقیم کم مصرف‌تر، به منظور دمش و سرمایش چند تن سنگ دانه‌بندی شده مدفون درون مخازن بهره می‌گیرند. در صبحدم این جرم به اندازه کافی خنک شده تا در طول روز هوای ورودی ساختمان را خنک کند. سایر سیستم‌ها در شب هنگام از برج‌های خنک‌کن استفاده می‌کنند تا مخازن عظیم آب را، جهت استفاده در روز بعد، خنک کنند. در یک سیستم غیرمستقیم غیرفعال^۱ از هیچ بخش متحرکی استفاده نشده و هم‌زمان با همرفت، خنک‌سازی از طریق تابش نیز انجام می‌شود. در دیگر انواع، از چرخ‌های ذخیره گرما برای خشک کردن هوا، در قبل از خنک‌سازی توسط پدهای اشباع، استفاده می‌شود.

تمام سیستم‌های فوق با جزییات بیشتر مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

پرسش‌های دوره‌ای

۱. روش‌های شرقی و غربی را از نظر تماس هوا با آب در سرمایه‌ش مستقیم مقایسه کنید. کدام یک می‌تواند کم‌ترین توان را استفاده کند؟ کدام یک آسایش بیشتری ایجاد می‌کند؟ کدام یک صنعتی‌تر است؟
۲. سرمایه‌ش تبخیری مستقیم و غیر مستقیم را مقایسه کنید. امروزه کدام یک بیشتر شبیه تهویه مطبوع برودتی است؟ کدام یک بیشتر یک روش تجدید هوا است؟ چرا؟
۳. چگونگی ناپدید شدن سیستم‌های تبخیری غیر مستقیم اولیه را شرح دهید. چگونه می‌شد از زوال آن‌ها جلوگیری کرد؟
۴. نقش تاریخی سرمایه‌ش تبخیری در قابل سکونت‌سازی جنوب غربی آمریکا را شرح دهید. آن را با سیم خاردار و آسیاب بادی مقایسه کنید.
۵. وجود چه کیفیتی به هواسازهای شرقی کمک کرد تا در رقابت با سیستم‌های ارزان‌تر موفق شوند؟ دو روشی که آن‌ها می‌توانند خنک کنند چیست؟
۶. امروزه چه نوعی از سرمایه‌ش تبخیری در مناطق آب و هوایی جدید رواج دارد؟ چه مزیتی نسبت به کولرهای آبی دارد؟ در اقلیم‌های نیمه مرطوب چگونه عمل می‌کند؟ مزایای آن نسبت به تهویه مطبوع برودتی چیست؟

فصل ۳

تئوری سرمایش تبخیری مستقیم

تئوری سرمایش تبخیری مستقیم بیشتر مدیون دکتر Willis H. Carrier است. تئوری اشباع آدیاباتیک (بی در رو) و نمودار رطوبت سنجی استاندارد نیز از مبانی آن محسوب می‌شوند. جهت درک کولرهای تبخیری لازم است که شخص با تئوری و نمودار مذکور آشنایی داشته‌باشد.

انتقال حرارت و جرم

اصولاً، وقتی آب و مخلوط غیر اشباع هوا-آب در تماس آزاد بوده ولی از نظر گرمایی تحت تاثیر عوامل دیگر نیستند، در اثر اختلاف دما و فشار بخار بین آن‌ها انتقال حرارت و آب رخ می‌دهد. جریان حرارت از ماده گرم‌تر به سردتر و جریان بخار آب از فشار بخار بالاتر به پایین‌تر است.

فرآیند دوم "انتقال جرم" نامیده می‌شود (در تقابل با "انتقال حرارت") و معمولاً شامل تبخیر ساده از سطح آب و اختلاط بخار آب با هوا است. البته خلاف آن نیز می‌تواند رخ دهد: بخار آب درون هوا بر روی هر سطح آبی که دمای آن مطابق با فشار بخار پایین‌تر است چگالیده می‌شود.

در صورت وجود زمان کافی، دماها و فشار بخار به تعادل رسیده و جریان خالص به انتها می‌رسد. جریان حرارت نه تنها دماها را به تساوی می‌کشد بلکه تبخیر موجب افزایش یک فشار بخار و کاهش دیگری می‌شود. در اینجا تبدلات جرم و حرارت دارای برهم‌کنش هستند به طوری که تبخیر مستلزم جذب حرارت بوده و چگالش مستلزم دفع حرارت است.

تماس آزاد و طولانی مدت بین آب و هوای غیر اشباع معمولاً منجر به اشباع شدن و اشباع ماندن هوا در دمای تعادل می‌شود. پس در حالت تعادل هوا اشباع است. وزن بخار آب درون هوای اشباع با دما تغییر می‌کند؛ هر چه هوا گرم‌تر باشد رطوبت بیشتری برای اشباع کردن آن لازم است.

حرارت (گرمای) نهان و محسوس

جریان حرارت که بر روی فرآیند اشباع تاثیر می‌گذارد معمولاً بر طبق نحوه تاثیر خود طبقه‌بندی می‌شود. بر حسب شرایط جریان حرارت یا (۱) بر روی دما تاثیر گذاشته یا (۲) حالت فیزیکی مواد را تغییر می‌دهد.

وقتی حرارت به یا از ماده جریان می‌یابد و تنها بر روی دمای آن تاثیر می‌گذارد ما آن را **حرارت (گرمای) محسوس** می‌نامیم. اگر چگالی یک ماده به صورت جزئی با دمای آن تغییر کند دیگر جریان گرمای محسوس بر حالت فیزیکی آن تاثیر نمی‌گذارد. تغییرات دما تناسب مستقیم با جریان گرمای محسوس دارد. هر چه این جریان بزرگ‌تر باشد تغییرات دما، که تحت تاثیر گرمای ویژه ماده است، نیز بزرگ‌تر است.

در مقابل وقتی جریان گرما باعث تغییر دما نشده و فقط حالت فیزیکی ماده را تغییر می‌دهد (مثل انجماد، ذوب، تبخیر یا چگالش (میعان) آن) به آن **گرمای نهان** می‌گوییم. البته از آن جا که ذات هر دو یکسان است بر حسب شرایط خارجی گرمای نهان به سادگی به گرمای محسوس تبدیل شده و بر عکس آن نیز می‌تواند رخ دهد.

در حالت آب و هوا، هر گونه گرمای محسوس ورودی یا خروجی موجب افزایش یا کاهش دمای آن می‌شود. دریافت یا اتلاف یک بی‌تی‌یو (Btu) گرمای محسوس موجب می‌شود که دمای یک پوند هوا $4/7 \text{ deg F}$ و دمای یک پوند آب 1 deg F افزایش یا کاهش یابد. در سیستم متریک دریافت یا اتلاف یک ژول (J) گرمای محسوس موجب می‌شود که دمای یک کیلوگرم هوا $0/196 \text{ deg C}$ و دمای یک لیتر آب $0/0418 \text{ deg C}$ افزایش یا کاهش یابد.

اگر چه در دماهای عادی، جریان گرمای نهان حالت فیزیکی هوا را تغییر نمی‌دهد ولی موجب تبخیر آب در هوا یا چگالش آب از هوا می‌شود. گرمای نهان لازم برای تبدیل یک مقدار معین آب بر حسب دما متفاوت است. در 75 F (۲۳/۹ C) تقریباً 1050 Btu برای تبدیل یک پوند آب لازم است ($J/1$ $2442/26$ در $37/7 \text{ C}$). مقدار آب چگالیده یا تبخیر شده مستقیماً با گرمای نهان تغییر می‌کند.

وقتی آب تبخیر می‌شود، گرمای نهان به همراه بخار در هوا وارد شده و تا خروج آن از هوا در آنجا باقی می‌ماند، پس بدان گرمای نهان هوا گویند. گرمای نهان هوا نشانگر میزان بخار آب درون هوا است.

اشباع آدیاباتیک (بی‌دررو)

اصلی که سرمایه‌ش تبخیری بر آن تکیه دارد، تبدیل ساده گرمای محسوس به نهان است. در حالی که آب و هوا از نظر حرارتی مجزا (ایزوله) هستند، هوای غیراشباعی که در معرض جریان آب سردتر است خنک می‌شود. مقداری از گرمای محسوس هوا به آب منتقل شده و در اثر تبخیر بخشی از آب به گرمای نهان تبدیل می‌شود. این گرمای نهان در اثر تبخیر آب وارد هوا می‌شود.

اگر فرآیند آدیاباتیک باشد، هیچ گرمایی مبادله نشده ولی در اثر تبدیل گرمای محسوس هوا به گرمای نهان دمای آن کاهش می‌یابد. بخار و گرمای نهان افزوده شده موجب افزایش رطوبت و گرمای درون هوا شده، ولی چون آن بخار در دمای اشباع هوا قرار دارد تاثیر منفی بر سرمایه‌ش هوا ندارد.

تبادل گرمای محسوس به نهان تا وقتی که هوا اشباع شده و دماهای آب و هوا و فشارهای بخار به تساوی برسند ادامه می‌یابد. از آنجا که در این فرآیند هیچ حرارت خارجی مشارکت ندارد به آن **فرآیند اشباع آدیاباتیک** گویند. اشباع شدگی صرفاً از طریق تبدیل گرمای محسوس هوا ایجاد می‌شود.

فرآیند اشباع آدیاباتیک بر اغلب، ولی نه همه، فرآیندهای سرمایه‌ش تبخیری هوا تاثیر دارد. این فرآیند، فرآیند اصلی در مواردی است که دمای اولیه آب نشانگر **دمای مرطوب** هوا است (wbT). در ادامه تشریح می‌شود). این فرآیند غالباً در سرمایه‌ش تبخیری رخ می‌دهد که آب ثابتی استفاده شده و مکرراً در طی گردش خود، در تماس با هوا است. این گردش در کولرهای آبی پمپ‌دار (فصول ۶ و ۷)، دیگر کولرهای کوچک (فصل ۸)، تمامی کولرهای آبی-پرتابی^۱ یا افشانه‌ای^۲ یا پد دوار^۳ (فصل ۹)، اغلب هواساز^۴های تجاری و نوع سلولی^۵ (فصل ۱۱)، تقریباً تمام کولرهای با ماده واسط صلب^۶ (فصل ۱۲) و اغلب سیستم‌های سرمایه‌ش کارخانجات نساجی^۷ (فصل ۱۴) به کار می‌رود.

1- Slinger
2- Sprayed
3- Rotary pad
4- Air washer
5- Cell type
6- Rigid media cooler
7- Textile mill cooling system

از نظر تئوری، دمای آب ثابت مانده و در تماس با هوا نه بالا می‌رود و نه پایین می‌آید. این بهترین ترتیب است زیرا تمام تبخیر در خدمت سرمایش هوا و نه سرمایش آب قرار می‌گیرد. در نتیجه برای یک اثر خنک‌کنندگی معین، آب کم‌تری مصرف شده و رطوبت کم‌تری وارد هوا می‌شود.

البته در عمل، معمولاً آب در مخزن (تشت)، پمپ و لوله‌کشی مقداری گرمای محسوس خارجی دریافت می‌کند. "آب جبرانی"^۱ که برای جایگزینی آب تبخیر شده به تشت اضافه می‌شود، در اثر اصطکاک ناشی از گردش، انتقال حرارت از محیط اطراف و تابش خورشیدی احتمالی موجب افزودن حرارت می‌شود. در نتیجه، اغلب فرآیند اشباع آدیاباتیک تنها یک تقریب نزدیک برای سرمایش تبخیری است که طی آن بیشتر تبخیر برای سرمایش یا سرمایش مجدد آب رخ می‌دهد.

وقتی آب گردش‌ی^۲ به میزان زیادی گرم‌تر از دمای مرطوب هوا در طی تماس اولیه است این فرآیند مشابه سرمایش برج‌های خنک‌کن هوای گرم است. نه تنها هوا، بلکه هوا و آب به صورت توأم خنک می‌شوند. این فرآیند اغلب در کولرهای تبخیری مستقیم غیر گردش‌ی^۳ یا بدون پمپ رخ می‌دهد، مثل: اغلب کولرهای آبی کوچک (فصل ۶)، برخی هواسازهای نوع سلولی (فصل ۱۱)، سیستم‌های قدیمی‌تر کارخانجات نساجی (فصل ۱۴) و بسیاری از پیش‌خنک‌کن‌های هوا در کندانسورهای برودتی (فصل ۱۹).

در اینجا، آب از لوله‌های غیرعایق در معرض سایه وارد شده و در نتیجه ممکن است نمایانگر دمای اسمی هوای خارجی باشد، اما از آنجا که لوله‌ها دراز بوده و گرمای خورشید یا پشت بام را جذب می‌کنند ممکن است دمای آب به $F 120$ ($C 48/9$) برسد. در اثر تماس، هوا و آب گرمای محسوس خود را از دست داده و در اثر تبدیل آن به گرمای نهان، هر دو خنک می‌شوند. تبخیر آب موجب خنک شدن آب و همچنین هوا می‌شود. در مقایسه با فرآیند اشباع آدیاباتیک واقعی، به دلیل دمای گرم اولیه آب، مقدار بیشتری از آن مصرف می‌شود و هوای خنک شده تولیدی نیز گرم‌تر و مرطوب‌تر است.

به علاوه در اغلب سیستم‌های سرمایش تبخیری که بر طبق این اصل کار می‌کنند، آب خنک‌شده مورد استفاده مجدد قرار نمی‌گیرد. بدین ترتیب قابلیت سرمایش بیشتری که آب با خنک شدن خود ایجاد بکند منتفی می‌شود. البته تخلیه آب بدین طریق موجب صرفه‌جویی در تجهیزات پمپاژ و هزینه‌های آن شده و موجب کاهش رسوب و خوردگی می‌شود.

1- Makeup water
2- Circulating water
3- Once through

از آنجا که فرآیند آن‌ها اساساً یکسان است و هر دو تمایل به خنک‌سازی هوا و آب در حد یک دمای خروجی یکسان دارند، اغلب کولرهای تبخیری را می‌توان به عنوان برج خنک‌کن در نظر گرفت و برعکس.

محدودیت‌های سرمایه‌ش تبخیری مستقیم

سرمایش ناشی از فرآیند اشباع آدیاباتیک با محدودیت‌هایی همراه است. مقدار گرمای محسوس دفع شده نمی‌تواند از گرمای نهان لازم برای اشباع‌سازی هوا با آب بیشتر شود. هوا که قبلاً تا ۵۰ درصد اشباع شده (رطوبت نسبی (rh) ۵۰ درصد) بخار و گرمای نهان کم‌تری را می‌تواند در مقایسه با هوای خشک‌تر جذب کرده و در نتیجه گرمای محسوس کم‌تری به گرمای نهان تبدیل می‌شود. توانایی‌های سرمایشی فرآیند اشباع آدیاباتیک با رطوبت هوایی که خنک می‌شود رابطه معکوس دارد.

هر چه فرآیند به حالت آدیاباتیک نزدیک‌تر باشد، قابلیت سرمایش آن بیشتر است. فرآیند غیرآدیاباتیک شبیه برج خنک‌کن است: هر چه "دامنه خنک‌کنندگی"^۱ (از اصطلاحات رایج در برج خنک‌کن) بیشتر باشد میزان تقرب^۲ دمای تعادل حاصل به حدی که بر اساس رطوبت موجود هوا تعیین می‌شود نزدیکی کم‌تری دارد. این حد، دمای مرطوب هوا است.

اندازه‌گیری رطوبت

چندین روش اندازه‌گیری معمول برای رطوبت موجود در هوا وجود دارد. رطوبت ویژه (مخصوصاً^۳ (sh) و نسبت رطوبت^۴ (hr) هر دو به یک کمیت اشاره دارند: وزن رطوبتی که توسط وزنی از هوای خشک نگه داشته می‌شود. این معیار مستقل از دما است. رطوبت ویژه بر حسب مقدار گرین^۵ رطوبت در هر پوند هوای خشک (هر پوند برابر ۷۰۰۰ گرین است). یا مقدار گرم رطوبت به ازای هر کیلوگرم هوای خشک بیان می‌شود. (وقتی رطوبت ویژه در سیستم انگلیسی، بر حسب گرین در پوند اندازه‌گیری می‌شود مقدار عددی آن ۷۰۰۰ برابر نسبت رطوبت و وقتی بر حسب گرم در کیلوگرم بیان می‌شود مقدار آن ۱۰۰۰ برابر نسبت رطوبت است).

1- Range: اختلاف دمای آب گرم ورودی برج و آب سرد خروجی آن- مترجم

2- Approach: اختلاف دمای هوای خروجی از برج خنک‌کن و دمای مرطوب- مترجم

3- Specific humidity

4- Humidity ratio

5- Grain

یک معیار دیگر که به صورت نسبی بر حسب دما است، رطوبت نسبی^۱ (rh) نامیده می‌شود. در هر دمای معین، رطوبت نسبی نشانگر درجه اشباع‌شدگی آب است. وقتی هوا کاملاً اشباع است رطوبت نسبی آن ۱۰۰ درصد است. یک تعریف کامل رطوبت نسبی عبارت است از درصد رطوبت واقعی موجود در هوا در مقایسه با حالتی که هوا در همان دما کاملاً اشباع باشد. (البته به بیان دقیق، رطوبت نسبی در واقع نسبت فشارهای بخار مربوط است در حالی که درجه اشباع‌شدگی عبارت از نسبت رطوبت ویژه واقعی به رطوبت ویژه هوای اشباع در همان دما است.)

رطوبت‌های ویژه و نسبی به هم مربوط هستند. در هر رطوبت ویژه، رطوبت نسبی هوا با دمای هوا رابطه معکوس دارد به طوری که در دماهای پایین بالاتر و در دماهای بالا پایین‌تر است. بیان این رابطه ساده است: هوای خارجی با sh ثابت، اغلب در خنکای بامدادی رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد را نشان می‌دهد و رطوبت به صورت شبنم چگالیده می‌شود در حالی که همان هوا با همان sh در گرمای عصرگاهی تنها دارای ۱۰ rh تا ۲۰ درصد است.

سومین معیار برای سطح رطوبت هوا، دمای نقطه شبنم^۲ (dpt) آن است. نقطه شبنم دمایی است که در صورت رسیدن و کاهش دمای هوا تا حد آن، بدون تغییر رطوبت، بخار آب درون هوا شروع به چگالش می‌کند. بر طبق اصول، سرمایش هوای غیر اشباع می‌تواند منجر به کاهش ظرفیت حفظ رطوبت شده تا این که این ظرفیت با رطوبت موجود در آن برابر شود. بدین ترتیب شرایط اشباع ۱۰۰ درصد یا rh برابر ۱۰۰٪ حاصل شده که از طریق ظهور مایع چگالیده شده بر روی سطوح سرد مجاور مشاهده می‌شود.

دماهای خشک و مرطوب (تر)

اندازه‌گیری مستقیم رطوبت‌های ویژه و نسبی دشوار است. به صورت رایج این رطوبت‌ها را می‌توان به طور غیرمستقیم توسط دماسنج‌هایی به دست آورد که همزمان دماهای خشک و مرطوب را اندازه‌گیری می‌کنند.

دمای خشک (dbt)، دمای هوایی است که توسط دماسنج معمولی بدون پوشش اندازه‌گیری می‌شود. تصور عامه مردم از دما همین است. **دمای مرطوب (wbt)** توسط دماسنج‌هایی نشان داده می‌شود که حباب آن‌ها توسط فتیله‌های خیسی پوشیده شده که در معرض هوای متحرک هستند. تبخیر آب فتیله باعث خنک شدن آن، در جهت دمای اشباع هوا شده تا این که جریان حرارت هوای اطراف

1- Relative humidity

2- Dew point temperature

فتیله به آن، با حرارتی که از طریق تبخیر دفع می‌شود برابر گردد. بنابراین دمای مرطوب، به میزانی که با رطوبت اولیه هوا رابطه معکوس دارد، کم‌تر از دمای خشک است.

اختلاف بین دماهای خشک و مرطوب، **افت دمای مرطوب**^۱ نامیده می‌شود که عاملی است که کاملاً یکنواخت ولی به صورت معکوس با رطوبت نسبی تغییر می‌کند. بنابراین ارتباط بین دماهای خشک و مرطوب ساده‌ترین روش برای محاسبه سطوح رطوبت است.

آخرین خاصیت رطوبت‌سنجی هوا **حجم ویژه (مخصوص) (sp vol)** است که بر حسب فوت مکعب بر پوند (m^3/kg) هوای خشک اندازه‌گیری می‌شود.

حجم ویژه تقریباً با دما رابطه مستقیم داشته و در هر دمایی افزایش اندکی با رطوبت دارد. در اغلب فرآیندهای تهویه مطبوع مقدار آن حدود $14 \text{ ft}^3/\text{lb}$ ($0.728 \text{ m}^3/\text{kg}$) است.

نمودارهای رطوبت سنجی هوا (سایکرومتریک)

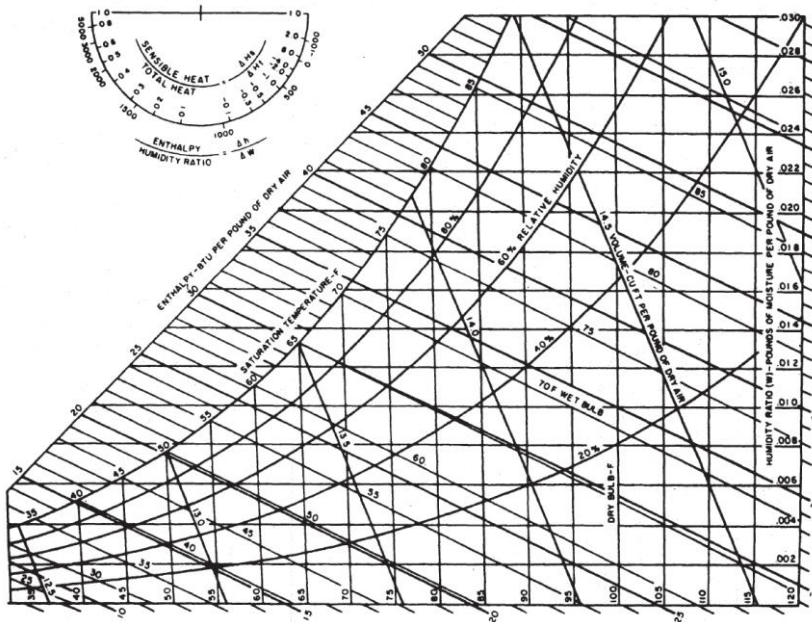
برای سهولت محاسبات، خواص رطوبت‌سنجی هوای غیر خشک در نمودارهای رطوبت‌سنجی استاندارد، مثل شکل ۱ رسم می‌شود (نمودار رطوبت سنجی هوا در سیستم متریک را می‌توانید در پیوست کتاب بیابید). با داشتن دو خاصیت رطوبت‌سنجی، سایر خواص را می‌توان بدون محاسبه به دست آورد.

چیدمان نمودار از قرار زیر است:

۱. خطوط دمای خشک عمودی هستند.
۲. خطوط دمای نقطه شبنم و رطوبت ویژه افقی هستند.
۳. خطوط هم‌انتالپی (انتالپی ثابت) (مقدار گرمای موجود در هر پوند هوا) و دمای مرطوب به صورت کج و قطری رو به پایین به سمت راست امتداد دارند.
۴. خط اشباع رطوبت نسبی ۱۰۰٪ به صورت منحنی از راست به چپ و رو به پایین است. دماهای درج شده بر روی آن نشانگر انطباق دماهای نقطه شبنم، خشک و مرطوب برای هوای اشباع هستند.
۵. منحنی‌های رطوبت نسبی ثابت در زیر خط اشباع و تقریباً به موازات آن قرار دارند.
۶. خطوط حجم ویژه ثابت بر حسب فوت مکعب بر پوند با فواصل کافی از هم با شیب تندتر از خطوط دمای مرطوب از چپ به راست امتداد دارند.

سایر خواص رطوبت‌سنجی هوا

از آنجا که اغلب گرمای درون هوای غیر خشک، گرمای نهان است، انتالپی تقریباً رابطه ثابتی با دمای مرطوب دارد. به طور کلی، انتالپی به صورت تقریباً مستقیم با دمای مرطوب تغییر می‌کند. ارتباط بین رطوبت نسبی، نقطه شبنم و دماهای خشک و مرطوب ساده است: در حالت اشباع مقدار rh هوا ۱۰۰٪ بوده و دماهای نقطه شبنم، مرطوب و خشک برابر هستند (به شکل ۱ مراجعه کنید).



شکل ۱- نمودار رطوبت‌سنجی ASHRAE برای هوای مرطوب در سطح دریا. خطوط عمودی دمای خشک را به صورت ثابت نشان می‌دهند. خطوط افقی نشانگر دمای نقطه شبنم و رطوبت ویژه یا نسبت رطوبت هستند. خطوط قطری کم شیب‌تر معرف دماهای مرطوب ثابت و خطوط قطری شیب‌دارتر معرف حجم‌های ویژه هستند. خط منحنی سمت چپ، خط اشباع است که نشانگر رطوبت نسبی ۱۰۰٪ بوده و در روی آن دماهای خشک، مرطوب و نقطه شبنم بر هم منطبق بوده و در نتیجه دماهای روی این خط نشانگر هر سه دما هستند. در منتهی‌الیه سمت چپ، خط مقیاس انتالپی بر حسب Btu در هر پوند هوای خشک (هوای حاوی بخار آب، اما عاری از مه یا افشانه تبخیر نشده) است. در بالای آن، صفحه مدرج نسبت گرمای محسوس نشان داده شده تا به صورت ترسیم (گرافیکی) بتوان شیب‌های مسیرهای فرآیند رطوبت‌سنجی سرمایه‌ش و گرمایش اتاق را تعیین کرد (در پیوست کتاب نمودار رطوبت‌سنجی در سیستم متریک ارائه شده است).

برای استفاده از نمودار رطوبت‌سنجی، شخص باید دو تا از کمیات فوق را وارد کند. سپس نقطه‌ای که خطوط مربوط این دو کمیت همدیگر را قطع می‌کنند را مشخص کند. این نقطه به نام **نقطه حالت**^۱ هوای مورد نظر نامیده می‌شود. موقعیت این نقطه نشانگر سایر مقادیر رطوبت‌سنجی است.

فرآیند رطوبت‌سنجی

نمونه فرآیندهای ترمودینامیکی در نمودار دارای مسیری از حالت اولیه به صورت زیر هستند:

- ۱- یک فرآیند گرمایش ساده به صورت افقی به راست حرکت می‌کند. یک فرآیند سرمایه‌ش ساده به صورت افقی به چپ حرکت می‌کند. در هر دو فرآیند دمای نقطه شبنم و رطوبت ویژه ثابت می‌ماند.
- ۲- یک فرآیند گرمایش-رطوبت‌زنی به صورت افقی به راست و دمای خشک نهایی آن حرکت کرده و سپس در dbt ثابت، تا رسیدن به حالت نهایی که بر اساس دیگر خاصیت رطوبت-سنجی تعیین می‌شود، به سمت بالا حرکت می‌کند.
- ۳- یک فرآیند سرمایه‌ش-رطوبت‌زدایی به صورت افقی، تا رسیدن به خط اشباع، به چپ حرکت کرده و سپس در dbt ثابت، تا رسیدن به حالت نهایی که بر اساس یک داده تعیین می‌شود، به سمت پایین حرکت می‌کند. در طی سرمایه‌ش محسوس (افقی) رطوبت نسبی افزایش می‌یابد تا این که در حالت اشباع به ۱۰۰ درصد برسد. در طی سرمایه‌ش نهان رطوبت نسبی در طول خط اشباع در ۱۰۰ درصد باقی مانده و در نتیجه طی این مرحله بخار به صورت پایا از هوا چگالیده می‌شود.
- ۴- فرآیندهای پیچیده‌ای مثل بالا، اغلب توسط خطوط مستقیمی نشان داده می‌شوند که نقاط مربوط به حالات اولیه و نهایی آن‌ها را به هم وصل می‌کند.
- ۵- فرآیندی که در آن هوای دو حالت (نقطه) مختلف آمیخته می‌شوند توسط خط مستقیمی نشان داده می‌شود که آن دو نقطه را به هم وصل می‌کند. نقطه مربوط به حالت نهایی که بین دو نقطه قبلی قرار دارد غالباً محاسبه شده ولی می‌تواند توسط داده‌های مربوط به تقاطع نمایش داده شود.
- ۶- فرآیند خشک کردن هوا، با استفاده از مواد شیمیایی جاذب رطوبت مثل سیلیکا ژل یا کلرید کلسیم، به صورت قطری به سمت راست و رو به پایین، در امتداد خطوط دمای مرطوب یا انتالپی ثابت، حرکت می‌کند تا به نقطه نهایی نشان داده شده بر طبق سایر

داده‌های تقاطع برسد. این فرآیندها معمولاً آدیاباتیک و بدون تلفات یا دریافت انتالپی هستند.

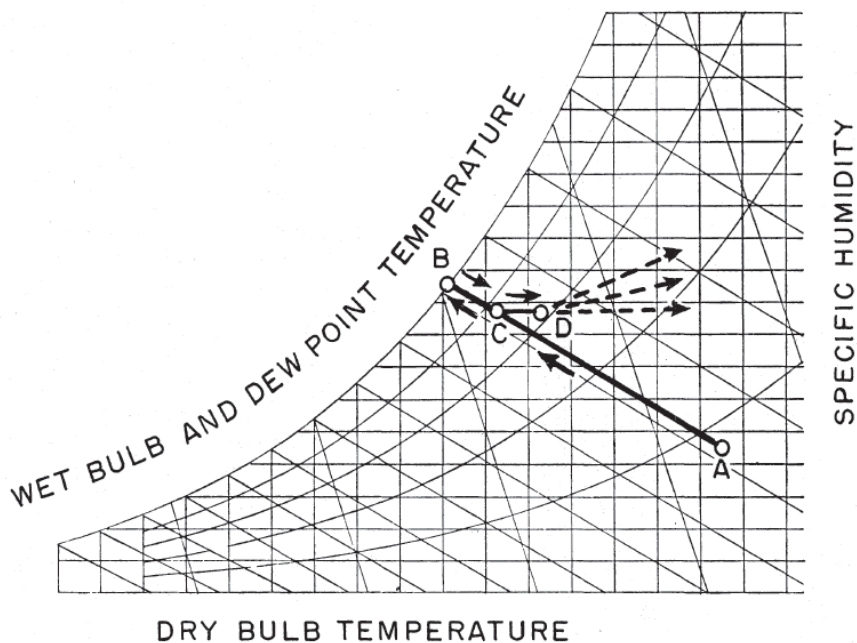
۷- یک فرآیند اشباع آدیاباتیک ایده‌آل، نظیر آن چه در بهترین سرمایه‌گذاری تبخیری رخ می‌دهد، در امتداد خطوط دمای مرطوب یا انتالپی ثابت، به صورت قطری به بالا و به سمت چپ، تا نقطه مربوط به حالتی حرکت می‌کند که توسط شرایط نهایی مثل دمای خشک، رطوبت ویژه یا نسبی یا نقطه شبنم مشخص می‌شود. این مسیر نشانگر افت دمای خشک هوا و افزایش دمای نقطه شبنم، رطوبت ویژه و رطوبت نسبی است (به شکل ۲ این فصل مراجعه کنید).

۸- یک فرآیند اشباع آدیاباتیک عادی، نظیر آن چه در برج‌های خنک‌کن و در کولرهای تبخیری مستقیم بدون گردش مجدد یا با گردش مجدد آهسته آب رخ می‌دهد، دارای دو حرکت است. این فرآیند در امتداد خطوط دمای مرطوب یا انتالپی ثابت، به صورت قطری به بالا و به سمت چپ، تا نقطه‌ای حرکت می‌کند که توسط دمای خشک هوای خنک شده مشخص می‌شود. سپس در حالی که دمای مزبور ثابت است به سمت بالا و به نقطه مربوط به حالتی حرکت می‌کند که توسط شرایط نهایی مثل رطوبت ویژه یا نسبی یا دمای مرطوب مشخص می‌شود. مسیر حرکتی دوم معرف دریافت انتالپی، رطوبت نسبی و ویژه توسط هوا است و دمای مرطوب حاصل از سرمایه‌گذاری آب از ورود آن تا حصول دمای نهایی است (به شکل ۳ این فصل مراجعه کنید).

با دانستن مسیر این فرآیندها می‌توان در اغلب مسائل رطوبت‌سنجی در تهویه مطبوع به پاسخ سریعی دست یافت.

سرمایش تبخیری ایده‌آل

یک سرمایه‌گذاری تبخیری ایده‌آل آدیاباتیک است، یعنی بدون افزایش یا اتلاف قابل ملاحظه در انتالپی رخ می‌دهد. مسیر فرآیندی آن در امتداد خطوط انتالپی یا دمای مرطوب ثابت است (به شکل ۲ این فصل مراجعه کنید).

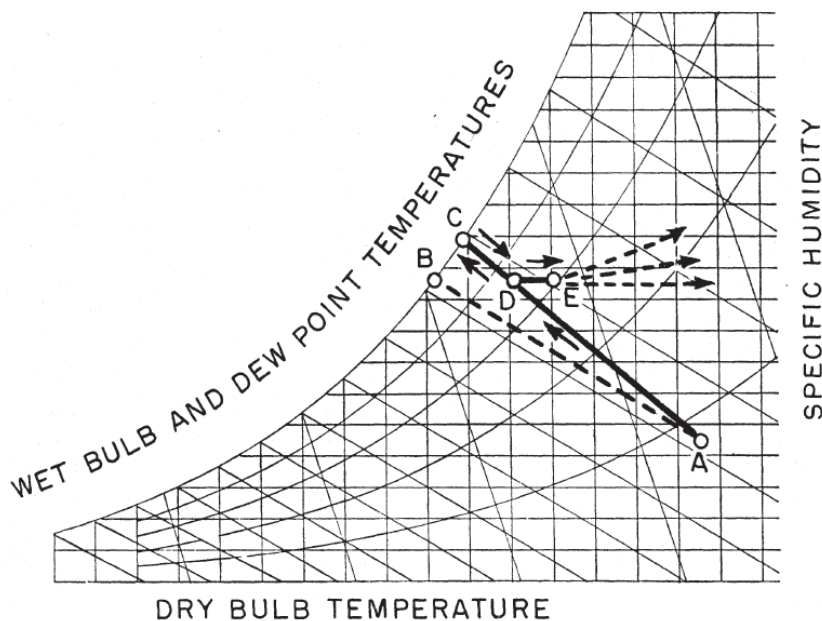


شکل ۲- سرمایش تبخیری مستقیم ایده‌آل. فرآیند اشباع آدیاباتیک واقعی وقتی رخ می‌دهد که: (۱) هوا با آبی در تماس است که، در طی قرارگیری مکرر و سریع در معرض هوا، دمای آن با دمای مرطوب هوای ورودی برابر است، و (۲) همچون کولرهای عایق یا قرار گرفته در سایه، هیچ حرارتی از دیگر منابع به آن وارد نمی‌شود. در این شکل، نقطه A معرف هوای بیرون است که وارد کولر می‌شود. نقطه B معرف دمای مرطوب هوای ورودی و دمای آب است. اغلب هوا، در انتالپی ثابت، از A تا B خنک و رطوبت دهی شده اما بخشی از آن از رطوبت‌گیری فرار کرده و در شرایط A باقی می‌ماند. این دو بخش با هم آمیخته شده و شرایط نقطه C را برای هوا ایجاد می‌کنند. این هوا، که به عنوان "هوای شسته شده" برای مقاصد سرمایشی تحویل می‌شود، به فن و کانال‌های کولر وارد شده و با جذب گرمای محسوس به نقطه D می‌رسد. از نقطه D، گرمای اتاق جذب شده و هوا در امتداد یکی از مسیرهای خط چین پیشنهادی گرم می‌شود. این حالت ایده‌آل در بسیاری از کولرهای تبخیری مستقیم قرار گرفته در سایه که دارای آب ورودی خنک و گردش سریع آب هستند قابل حصول است.

چنین سیستم‌های سرمایشی معمولاً هوای بیرون را در دما و رطوبت موجود وارد می‌کنند. نقطه مربوط به حالت هوای بیرون، در نمودار رطوبت‌سنجی، در تقاطع خط دمای خشک آن و خط دمای مرطوب یا خط رطوبت نسبی آن قرار دارد. این نقطه نشانگر رطوبت ویژه، انتالپی، نقطه شبنم و حجم ویژه است (به نقطه A در شکل ۲ این فصل مراجعه کنید).

این هوا، در اثر تماس با یک سطح خیس بزرگ که در دما یا نزدیک به دمای مرطوب هوا است، به صورت آدیاباتیک رطوبت‌دهی می‌شود. در کولرهای آبی، هوا از میان پدهای مرطوبی که به صورت بسته‌های غیر متراکمی از پوشال هستند، عبور می‌کند. در کولرهای افشانه‌ای و آبی-پرتابی، هوا هم

از میان صفحاتی از افشانه متحرک و هم از میان پدهایی از الیاف با روکش پلاستیکی عبور می‌کند. در کولرهای با پد دوار، هوا از میان پدهای ضخیمی از توری‌های فلزی مرطوب عبور کرده و در هواسازها نیز از میان ابری از افشانه بسیار ریز که توسط صفحات فلزی خیس احاطه شده عبور می‌کند. در کولرهای با ماده واسط صلب، هوا از میان پدهایی عبور می‌کند که اغلب ۱۲ in (۳۰/۵ cm) ضخامت داشته و از تونل‌های زیگزاگ و چندگانه خیسی تشکیل شده‌اند. در تمام موارد آب آنچنان سریع گردش می‌کند که پیوسته می‌توان دمای مرطوب هوا را تقریب کرد (به شکل ۳ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۳- سرمایش تبخیری مستقیم معمولی. حالت ۱- فرآیند اشباع غیر آدیاباتیک وقتی رخ می‌دهد که: (۱) هوا با آبی در تماس است که، وقتی آب گردش مجدد نکرده یا در حین تماس با هوا گرم می‌شود، دمای آن آب از دمای مرطوب هوای ورودی بیشتر می‌شود، یا (۲) از منابعی چون خورشید، حرارت به آن وارد می‌شود. در حالت ۱، دمای اولیه آب بین دماهای مرطوب و خشک هوای ورودی است. در این شکل، نقطه A معرف هوای بیرون است که وارد کولر می‌شود. نقطه B معرف دمای مرطوب هوای ورودی و خط AB معرف مسیر فرآیند اشباع آدیاباتیک است که حاصل نشده است. خط BC نشانگر حرارت گرفته شده توسط هوا در حین سرمایش آب تا دمای اشباع یا از طریق منابع دیگر است. اغلب هوا، با افزایش انتالپی از A تا C خنک و رطوبت دهی شده اما بخشی از آن از رطوبت‌گیری فرار کرده و در شرایط A باقی می‌ماند. این دو بخش با هم آمیخته شده و شرایط نقطه D را برای هوا ایجاد می‌کنند. این هوا به فن و کانال‌های کولر وارد شده و با جذب گرمای محسوس به نقطه E می‌رسد. در نقطه E، این هوا به عنوان "هوای شسته شده" جهت مقاصد سرمایشی تحویل می‌شود. این هوا در امتداد یکی از مسیرهای خط چین پیشنهادی گرم شده و حرارت اتاق را جذب می‌کند.

با انتقال گرمای محسوس هوا به سطح آب و تبدیل آن به گرمای نهان تبخیر، دمای خشک هوا افت می‌کند. اما با جذب همزمان بخار آب حاوی گرمای نهان معادل، افت گرمای محسوس هوا جبران می‌شود. بدین ترتیب این فرآیند، از نقطه اولیه A، به موازات خطوط هم‌انتالپی و هم‌دما، به سمت بالا و چپ حرکت می‌کند.

مقداری یا اکثر هوا اشباع شده و به حالت جدید B می‌رسد که خط دمای مرطوب آن خط اشباع را قطع می‌کند. البته مقداری از هوا بدون ایجاد هیچ تاثیری از شکاف‌های ریز موجود در پد یا فواصل بین ذرات افشانه گریخته یا به پوسته کولر نشت می‌کنند. این هوا در شرایط اولیه نقطه A باقی می‌ماند.

در هنگام ترک مرحله رطوبت‌زنی، معمولاً هوای اشباع با هوای خشک باقیمانده مخلوط شده و در روی خط رابط A و B، بر طبق خواص و مقادیر نسبی، حالتی مطابق نقطه C را ایجاد می‌کند. سپس در حین گذر از فن و کانال‌ها، گرمایش ناشی از اصطکاک ایجاد می‌شود. این امر منجر به جابجایی حالت نهایی به صورت افقی به سمت راست، یعنی نقطه D، شده که نشانگر اندکی افزایش دما است.

سرمایش تبخیری معمولی

سرمایش تبخیری مستقیم اغلب، از نظر این که آب ورودی با خود گرمای محسوس می‌آورد، با فرآیند اشباع آدیاباتیک تفاوت دارد. در نتیجه هوا طی افزایش انتالپی و دمای مرطوب، که ثابت نیست، خنک می‌شود. دو حالت وجود دارد: حالت ۱، که در آن دمای ورودی آب بین دماهای مرطوب و خشک هوا قرار دارد و حالت ۲، که در آن دمای آب ورودی از هر دو دمای مرطوب و خشک هوا بالاتر است.

حالت ۱: سیستم، هوای بیرونی، که شرایط آن مطابق شکل ۳ این فصل است، را به درون می‌کشد. این هوا از طریق تماس با افشانه‌ها یا سطوح خیسی که گرم‌تر از دمای مرطوب هوای ورودی هستند، مرطوب می‌شود. این فرآیندی است که در کولرهای آبی و افشانه‌ای بدون گردش آب یا بدون پمپ، در برخی هواسازهای نوع سلولی و برخی از انواع دیگر آن، و در سیستم‌های سرمایش کارخانجات نساجی از نوع بدون کانال یا نوع با تعویض هوا رخ می‌دهد. این آب پس از استفاده به دور ریخته شده، یا از طریق دریافت حرارت مجدداً گرم شده یا کاملاً تبخیر می‌شود.

با تبدیل گرمای محسوس هوا به گرمای نهان و تبخیر مقداری از آب، فرآیند آن، که در شکل ۳ این فصل نشان داده شده، به صورت دمای مرطوب و انتالپی ثابت به سمت بالا و چپ حرکت می‌کند.

هم‌زمان، آب گرمای محسوس را اعمال می‌کند، که مقدار آن توسط اختلاف دمای آب نسبت به دمای مرطوب هوای ورودی بیان می‌شود.

فرآیند حاصل، در طی یک مسیر نامشخص، مستقیماً به سمت C حرکت می‌کند. البته به منظور تحلیل، در شکل ۳ این فصل دو مرحله نشان داده شده‌است: مرحله آدیاباتیک از A تا B که بیشتر معرف سرمایش محسوس هوا است و سپس مرحله رو به بالا از B تا C که مربوط به تاثیر آب است.

مرحله اخیر موجب افزایش رطوبت‌های ویژه و نسبی و نقطه شبنم هوا شده در حالی که دمای خشک آن چندان تغییر نمی‌کند. این امر موجب می‌شود که قابلیت ایجاد آسایش سرمایشی هوا کاهش یابد.

همچون سرمایش آدیاباتیک، اکثر هوا بر روی خط اشباع تا نقطه C خنک شده ولی به دلیل نشستی با هوای غیر موثر (نقطه A) رقیق شده و در نهایت نقطه D بر روی خط بین نقاط A و C حاصل می‌شود. موقعیت نقطه D بر روی خط به کمیت و کیفیت نسبی هوای مخلوط شونده بستگی دارد. حالت نهایی، نقطه D است مگر این که گرمای فن یا کانال موجب جابجایی افقی حالت نهایی به سمت راست و نقطه E شود.

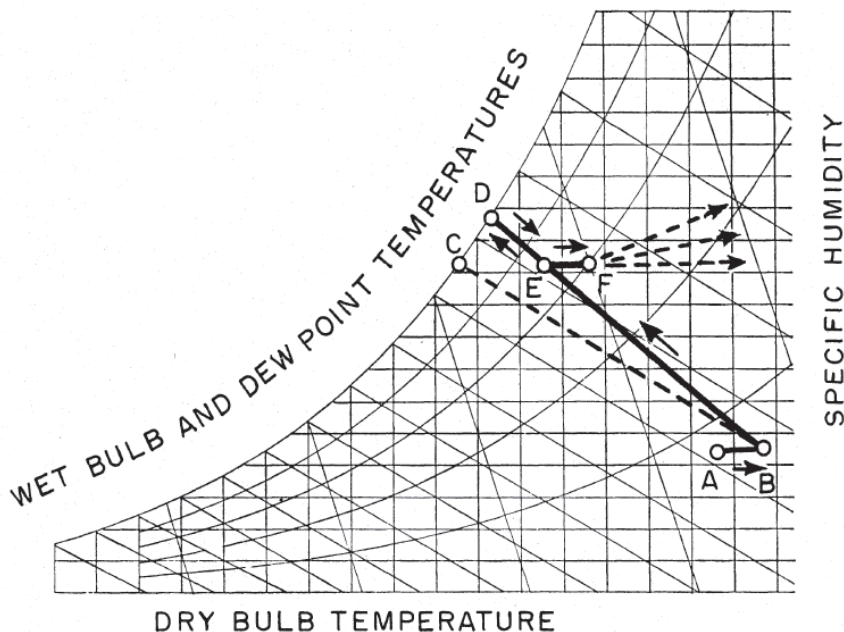
حالت ۲: همان گونه که در شکل ۴ این فصل دیده می‌شود، هوای ورودی در حالت نقطه A هم چون حالت ۱ با آب تماس می‌یابد. به دلیل این که هوا از آب خنک‌تر است، هوا گرمای محسوس آب را جذب کرده و تا نقطه B، که دماهای آب و هوا بر هم منطبق شده و به حالت ۱ برسند، گرم می‌شود. آب و هوا مشترکاً گرمای محسوس را به گرمای نهان تبدیل کرده و موجب تبخیر می‌شوند. این فرآیند برای اغلب هوا در طول مسیرهای نامعلوم به سمت D بر روی خط اشباع حرکت می‌کند که توسط یک مرحله آدیاباتیک سرمایش هوا از نقطه B تا C و مرحله سرمایش آب از C به D نمایش داده می‌شود.

در اثر رقیق‌سازی توسط هوای نقاط A و B، در خطوط تقریباً منطبق A-D و B-D، مخلوطی مطابق نقطه E ایجاد می‌شود که موقعیت دقیق آن به مقادیر نسبی کمیت‌ها و کیفیت‌ها بستگی دارد. در نهایت، گرمای محسوس حاصل از فن یا کانال‌ها موجب تغییر مکان حالت نهایی به نقطه F می‌شود. واضح است که در مقایسه با حالت ۱، حالت ۲ تاثیر کم‌تری در سرمایش هوا داشته در حالی که مصرف آب آن بیشتر است. پس به طور کلی باید از آن اجتناب شود.

بنابراین، کولرهای تبخیری، به ویژه کولرهای از نوع تبخیری مستقیم غیر گردشی یا بدون پمپ، باید دارای لوله‌های آب تغذیه خود بوده که از تمام گرماهای خارجی محتمل محافظت می‌شوند. تا آن جا که امکان‌پذیر است، این لوله‌ها باید در داخل ساختمان بوده و دارای حداقل قرارگیری در معرض هوای زیر شیروانی، هوای بیرون یا نور خورشید باشند. این موضوع برای کولرهای گردشی یا پمپ‌دار

توصیه می‌شود به خصوص آن‌هایی که دارای نرخ " آب دور ریز " بالایی هستند (به فصول ۷ و ۱۸ مراجعه کنید).

از آن جا که حرارت ورودی فرآیند از هر منبعی به غیر از هوای خنک شونده موجب کاهش کارایی می‌شود، کولرهای تبخیری باید: (۱) تا حد امکان در سایه باشند، (۲) دارای سردترین آب تغذیه ممکن باشند و (۳) خنک‌ترین و خشک‌ترین هوا را دریافت کنند (به فصل ۱۸ مراجعه کنید).



شکل ۴- سرمایش تبخیری مستقیم معمولی. حالت ۲- فرآیند اشباع غیر آدیباتیک وقتی رخ می‌دهد که: (۱) هوا با آبی در تماس است که، وقتی آب گردش مجدد نکرده یا در حین تماس با هوا گرم می‌شود، دمای آن از دمای مرطوب هوای ورودی بیشتر می‌شود، یا (۲) وقتی از منابعی چون خورشید، حرارت به آن وارد می‌شود. در حالت ۲، دمای اولیه آب بالاتر از دمای خشک هوا است. در این شکل، نقطه A معرف هوای بیرون است که وارد کولر می‌شود. تماس اولیه با آب موجب انتقال گرمای محسوس به هوا و گرمایش آن به صورت موقت تا نقطه B می‌شود. نقطه C نشانگر دمای مرطوب افزایش یافته هوا و خط BC معرف مسیر فرآیند ایده‌آل اشباع آدیباتیکی است که حاصل نشده است. خط CD نشانگر حرارت گرفته شده بیشتری است که توسط هوا، با سرمایش آب از نقطه B تا دمای اشباع یا از طریق منابع دیگر، گرفته می‌شود. اغلب هوا، با افزایش انتالپی از B تا D خنک و رطوبت دهی شده اما بخشی از آن از تماس با آب فرار کرده و در شرایط B یا در ترکیبی از نقاط A و B باقی می‌ماند. این دو بخش با هم آمیخته شده و هوایی با شرایط تقریبی نقطه E را ایجاد می‌کنند. این هوا به فن و کانال‌های کولر وارد شده و با جذب گرمای محسوس به نقطه F می‌رسد. در نقطه F،

این هوا به عنوان "هوای شسته شده" جهت مقاصد سرمایشی تحویل می‌شود. پس از نقطه F، این هوا در امتداد یکی از مسیرهای خط چین پیشنهادی گرم شده و حرارت اتاق را جذب می‌کند.

بازده اشباع (شدگی)

به نظر می‌رسد که در دستگاه‌های تجاری، ایجاد اشباع ۱۰۰ درصدی هوای داغ خشک غیر عملی است. به منظور امکان گذر راحت هوا از میان پدهای اشباع، اغلب این پدها به صورت غیر متراکم بوده ضخامت آن‌ها به ندرت بیش از ۲ اینچ (۵/۸ cm) است. بدین ترتیب تمام نواحی خشک پدها و سطوح غیرمتراکم پدهای خیس و نشتی هوا در دیگر نقاط اجازه ورود هوای جدید بیرونی را داده و آن را به جریان بزرگ‌تر هوای اشباع وارد می‌کنند. حتی در هواسازهای با کیفیت، هوای خشک از فاصله بین افشانه‌ها و ما بین قطرات افشانه عبور می‌کند. البته در برخی کولرها تماس آب و هوا به اندازه کافی طولانی است. حتی در پدهای واسط صلب بزرگ به ضخامت ۲۳ in (۶۰/۸ cm) نمی‌توان به سادگی به اشباع ۱۰۰ درصدی رسید.

پدها و افشانه‌های چگال‌تر و سرعت‌های پایین‌تر هوا موجب افزایش زمان تماس هوا-آب و کاهش رقیق شدگی شده ولی مستلزم فن‌ها، پمپ‌ها و واحدهای رطوبت‌زن بزرگ‌تری است. به علاوه، از آن جا که استفاده از هوای تقریباً اشباع می‌تواند موجب تاب خوردگی، زنگ‌زدگی و کپک زدگی مواد حساس شود به ندرت به دنبال اشباع شدگی کامل هستند.

اغلب کولرهای تبخیری مستقیم تجاری جدید تا اشباع‌شدگی ۸۰ درصد را ایجاد می‌کنند. کولرهای آبی ارزان می‌توانند به ۵۰ تا ۷۰ درصد برسند ولی انواع دارای پدهای افشانه‌ای، پدهای دوار، مواد واسط صلب و هواسازها می‌توانند تا بیش از ۹۰ درصد خنک‌کنندگی ایجاد کنند. از نسبتی که معمولاً بازده سرمایش یا اشباع یا ضریب تاثیر نامیده می‌شود، برای ارزیابی این عملکرد استفاده می‌شود. مقدار آن به راحتی از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

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

به طوری که:

E_s = بازده اشباع، درصد

t_1 = دمای خشک هوای ورودی

t_2 = دمای خشک هوای خروجی

t_3 = دمای مرطوب هوای ورودی

بازده اشباع بر حسب طراحی، شرایط و تنظیم تجهیزات تغییر می‌کند. تا وقتی که سیستم مورد نظر به صورت مناسب آب را در معرض هوا قرار می‌دهد، این بازده تحت تاثیر شرایط آب و هوایی قرار نمی‌گیرد. با وجود مشابهت در مقادیر، بازده اشباع را نباید با رطوبت نسبی هوای خنک شده اشتباه گرفت. در آب و هوای مرطوب، کولرهای با بازده اشباع ۸۰ درصد، هوای با رطوبت نسبی ۸۰٪ را تحویل می‌دهند. در هوای خشک مقدار این رطوبت نسبی به ۶۰٪ می‌رسد.

فرآیند سرمایه‌ش تبخیری در اتاق‌ها

هوای خنک حاصل از کولرهای تبخیری مستقیم، که معمولاً "هوای شسته شده"^۱ نامیده می‌شود، در حجم زیاد و سرعت قابل ملاحظه وارد اتاق شده و با شدت گردش می‌کند. با ورود این هوا که اغلب در dbt بین ۶۰ تا ۸۰ (۱۵/۶ تا ۲۶/۷) است، این هوا گرمای محسوس را از هوا، دیوارها، پنجره‌ها، کف و سقف، افراد، مبیل و اثاث، چراغ‌ها و دستگاه‌های اتاق جذب می‌کند. موارد مذکور خنک شده و در نتیجه مقدار گرمای محسوس و دمای خشک هوای شسته شده بالا می‌رود.

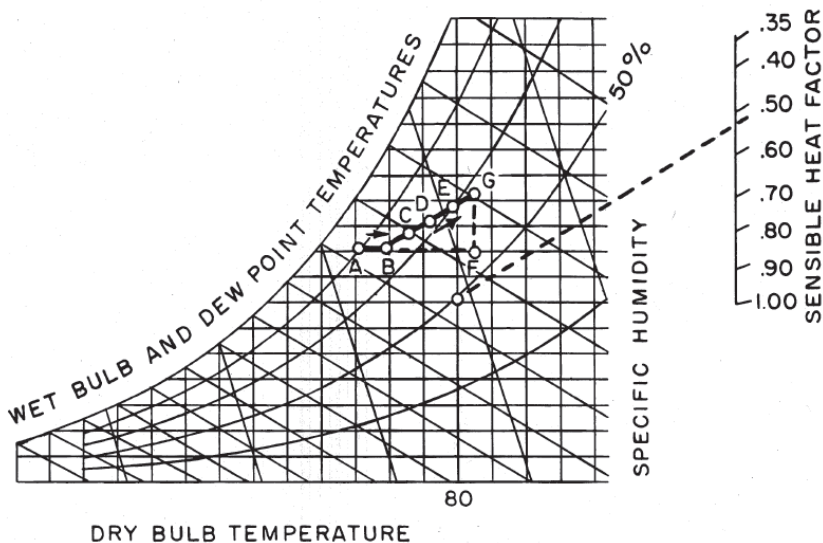
با جذب بخار آب تولید شده در اتاق، گرمای نهان هوای شسته شده نیز افزایش می‌یابد. منشأ این بخار، تبخیر از سطح آب‌های داخلی و گیاهان، پوست و بازدم انسان، شستن لباس، پخت و پز، فرآیندهای صنعتی، شعله‌های باز گاز طبیعی و غیره است. هوای بیرونی نفوذی معمولاً بار نهان اندکی برای کولرهای تبخیری دارد. اگر چه در عمل رطوبت‌زدایی رخ نمی‌دهد ولی تمام بخارات تولیدی در اتاق که توسط هوای شسته شده گرفته شده به همراه آن تخلیه می‌شود.

تخلیه هوای شسته شده به بیرون

وقتی دمای هوای شسته شده ۵ F (۲/۸ تا ۵/۶ C) افزایش می‌یابد، لازم است تا اجازه داده شود که آزادانه به بیرون تخلیه شود. به صورت مرسوم این هوا از طریق درها و پنجره‌های باز، و آگزوز فن‌ها و ترجیحاً به فضاهای زیر شیروانی تخلیه می‌شود. بدین ترتیب، گرمای ورودی اتاق‌ها یا گرمای با منشأ داخلی به صورت پیوسته توسط جریان هوای شسته شده خارج شده و موجب کاهش دما و تهویه هوا می‌شود (به فصول ۱۷ و ۱۸ و شکل ۵ این فصل مراجعه کنید).

این فرآیند خنک‌سازی را می‌توان بر روی نمودار رطوبت‌سنجی ردگیری کرد (به شکل ۵ این فصل مراجعه کنید). هوای شسته شده، در نقطه A، کولر و فن آن را ترک کرده و در کانال‌های هوارسان تا رسیدن به اتاق، یعنی تا نقطه B، اندکی گرم می‌شود. از آنجا فرآیند به صورت افقی به راست

حرکت کرده که نشانگر جذب گرمای محسوس اتاق و محتویات آن توسط هوای خنک بوده و سپس به بالا حرکت می‌کند که نشانگر جذب رطوبت است. ترکیب این حرکات در هنگامی به اتمام می‌رسد که هوای شسته شده در نقطه G به دمای خشک خروجی خود رسیده و تخلیه می‌شود. به منظور تجزیه و تحلیل، این مسیر به صورت گرمایش محسوس از B تا F به صورت بهتری نشان داده شده که در ادامه با یک حرکت رو به بالا برای گرمای نهان به نقطه G مربوط به حالت تخلیه می‌رسد که در محل تقاطع دمای خشک نهایی هوا با خطوط دمای مرطوب یا رطوبت نسبی قرار دارد.



شکل ۵- فرآیند و مسیر سرمایش تبخیری مستقیم در اتاق. کولرهای تبخیری مستقیم، از طریق غرقه سازی پیوسته اتاق توسط هوای شسته شده‌ای که دمای آن به میزان قابل ملاحظه‌ای کم‌تر از دمای میانگین اتاق است، موجب خنک‌سازی اتاق می‌شوند. این هوا گرمای اتاق را جذب کرده تا این که دمای آن به بالاتر از دمای اتاق برسد، سپس بدون گردش مجدد، آزادانه به بیرون تخلیه شده و گرمای جذب شده را با خود حمل می‌کند. در این جا نقطه A معرف هوای شسته شده یک کولر است که وارد کانال‌های هوارسانی می‌شود. گرمای محسوسی که جذب آن می‌شود موجب گرمایش آن تا نقطه B شده که طی آن هوا وارد اتاق‌ها می‌شود. در این جا هوا گرمای محسوس و نهان را جذب می‌کند. گرمای محسوس اتاق، هوای شسته شده را از B تا F گرم کرده در حالی که گرمای نهان موجب افزایش رطوبت آن از F تا G شده و فرآیند ترکیبی BG را ایجاد می‌کند. در نقطه G، هوای شسته شده به بیرون تخلیه شده و هر پوند آن متناسب با نسبت G به B انتالپی هوای اتاق را کاهش می‌دهد. اگر یک اتاق تکی خنک شود، حالت میانگین آن، نقطه D است که ما بین نقاط B و G قرار دارد. اگر دو اتاق متوالی توسط هوای شسته شده یکسانی خنک شوند، حالت مربوط به آن‌ها نقاط C و E است که فاصله آن‌ها از هم متناسب با حرارت دریافتی هر کدام است. شیب مسیر فرآیند BG را می‌توان به صورت ترسیمی از روی ضریب

گرمای محسوس^۱ یا ضریب گرمای کل محسوس^۲ (نسبت اعشاری گرمای محسوس به کل گرمای ورودی فضای مورد سرمایش) تعیین کرد. مسیر BG به موازات خط رابط ضریب گرمای محسوس مندرج در نمودار با نقطه مرجع مربوط به تقاطع دمای خشک ۸۰ F و رطوبت نسبی ۵۰٪ است.

خط رابط نقاط B و G مربوط به حالت‌های ورودی و خروجی هوای شسته شده دارای شیب ملایم رو به بالا است. برخی نمودارهای رطوبت سنجی نظیر شکل ۱ این فصل برای ضریب گرمای محسوس (درصد گرمای محسوس نسبت به بار حرارتی کل که باید دفع شود)، کالیبره می‌شوند. به کمک زاویه سنج (نقاله) (گوشه بالا و سمت چپ شکل ۱ این فصل)، شیب‌های نمودار رطوبت سنجی برای مسیرهای فرآیند سرمایش اتاق پیدا می‌شود. خطوطی که از مرکز نقاله به نسبت گرمای محسوس یا انتالپی هوا تقسیم بر نسبت رطوبت رسم می‌شود، شیب‌های مزبور را تعیین می‌کنند.

در شکل ۵ این فصل شیب مناسب برای خط BG به موازات خطی است که از نقطه مرجع (O) به شاخص مندرج سمت راست کشیده می‌شود. ضریب گرمای محسوس از مقدار ۹۰ درصد برای اتاق‌های خشک کم جمعیتی که دارای عایقکاری ضعیفی بوده یا حاوی ماشین‌آلات داغ و خشک هستند تا حدود ۳۰ درصد مربوط به سالن‌های شلوغ رقص یا رستوران‌ها و آشپزخانه‌های پر بخار متغیر است. این ضریب برای خانه‌ها و ادارات عادی مشترکاً حدود ۷۰ درصد است.

نقاط حالت، برای اتاق‌هایی که توسط هوای شسته شده از ورود تا خروج طی می‌شوند بر روی خط BG قرار دارند. اگر تنها یک اتاق توسط این هوا طی شود، نقطه حالت متوسط آن را می‌توان توسط نقطه D نمایش داد. در حالت دو اتاق متوالی (حداکثر تعداد اتاق پیشنهادی برای سرمایش با هوای شسته شده) دو نقطه حالت متوالی در نقاط C و E بر روی خط BG قرار دارند که مطابق بادماهای خشک مربوط به اتاق‌ها هستند. اتاق دوم لزوماً گرم‌تر از اتاق اول بوده ولی رطوبت نسبی آن کم‌تر است. به دلیل تقلیل تلاطم و سرعت هوا، این روش معمولاً دارای آسایش کم‌تری است. به دلیل این که جریان‌های متمرکز هوای شسته شده موجب جریان‌های گردابه‌ای بی‌شماری در هوای اتاق می‌شوند، اتاق اول دارای تلاطم بالایی است. اتاق دوم معمولاً تنها یک جریان یکنواخت و کم سرعت راه، در جهت دهانه خروجی، دریافت می‌کند.

از آن جا که قبل از این که گرمای اتاق موجب گرم شدن هوای شسته شده تا بیش از 10 deg F ($5/6 \text{ deg C}$) شود باید به بیرون تخلیه شود، لذا یک تک نقطه حالت اتاق نباید بیش از 5 deg F ($2/8 \text{ deg C}$) تا $3/3 \text{ deg C}$ گرم‌تر از هوای شسته شده ورودی باشد. نقاط حالت متناظر در حالت دو اتاق متوالی که توسط هوای شسته شده یکسان طی می‌شوند نباید برای اتاق‌ها به ترتیب بیش از 3 deg F تا 3 deg F

1- Sensible Heat Factor

2- Sensible Total Heat Factor

۴ (۱/۷ deg C تا ۲/۲ deg C) و ۶ تا ۸ (۳/۳ deg F تا ۴/۴ deg C) بالاتر از دمای هوای تازه شسته شده ورودی باشد (به فصل ۱۸ مراجعه کنید).

رطوبت نسبی هوای داخل

وقتی هوای شسته شده گرمای محسوس را جذب می‌کند، رطوبت نسبی بالای آن سقوط کرده و سطح آسایش افزایش می‌یابد. در آب و هوای مرطوب، اگر هوای شسته شده در ۸۰٪ rh وارد شود، برای این که قبل از تخلیه بتواند بیش از ۵ deg F (۲/۸ deg C) بگیرد، بسیار گرم محسوب می‌شود. در نتیجه رطوبت نسبی آن تنها تا حد ۷۰٪ کاهش یافته و رطوبت نسبی میانگین اتاق نیز ۷۵٪ می‌شود. البته در هوای خشک و داغ ایده‌آل، هوای شسته شده با رطوبت نسبی ۶۰٪، پس از افزایش دمای ۱۰ deg F (۵/۶ deg C) با رطوبت نسبی ۴۰٪ تخلیه شده و نظیر اکثر سیستم‌های سرمایش برودتی، رطوبت نسبی میانگین آن ۵۰٪ می‌شود.

اکثراً سرمایش تبخیری مستقیم در حدود رطوبت نسبی داخلی میانگین نزدیک به ۶۰٪ روی می‌دهد؛ ولی حرکت سریع هوای شسته شده بر روی پوست انسان احساس سرمایشی معادل با یک رطوبت نسبی پایین‌تر را ایجاد می‌کند که این موضوع به عنوان یک نکته مهم در فصل بعد مورد بررسی قرار می‌گیرد.

حتی در اقلیم‌های مرطوب، بسیاری از مناطق صنعتی داغ نظیر دیگ بخار، کوره، موتور، اتاق‌های فرآیند، کارگاه‌های فورج (آهنگری) و نورد گرمای محسوس کافی دریافت کرده و علاوه بر آن گرمای خورشید نیز از طریق بام آن‌ها اضافه شده و در نتیجه طی آن سرمایش تبخیری موجب ایجاد رطوبت نسبی بیش از حد نمی‌شود مگر این که گرمای نهان قابل ملاحظه‌ای دریافت شده تا مانع از کاهش رطوبت نسبی به میزان مفید شود.

وقتی ضریب گرمای محسوس بین ۰/۱ و ۰/۳ است (مثل برخی آشپزخانه رستوران‌ها، واحدهای فرآیندی مرطوب) رطوبت نسبی هوای شسته شده از ورود تا خروج ثابت می‌ماند. این امر می‌تواند منجر به زنگ‌زدگی و کپک‌زدگی شود. در دماهای عادی در ۷۵٪ rh آسیب‌دیدگی می‌تواند بروز کند. وجود رطوبت پایدار، حتی در صورت حصول دمای رضایتبخش، می‌تواند باعث کاهش آسایش بشود.

پرسش‌های دوره‌ای

۱. آیا انتقال جرم شامل چگالش و تبخیر می‌شود؟
۲. تفاوت گرمای محسوس و گرمای نهان را شرح دهید. گرمای نهان تبخیر آب بر حسب Btu بر پوند و کیلوژول بر کیلوگرم چیست؟
۳. فرآیند اشباع آدیاباتیک را تعریف کنید. این فرآیند چگونه باعث خنک شدن هوا می‌شود؟ چگونه می‌تواند آب را نیز خنک کند؟
۴. چرا سرمایش تبخیری قادر به دفع گرمای محسوس زیاد از هوای نسبتاً مرطوب بیرون نیست؟
۵. تفاوت رطوبت نسبی، رطوبت ویژه و نسبت رطوبت را شرح دهید. نمادهای اختصاری آن‌ها چیست؟
۶. در شرایط عادی، کدام یک از رطوبت‌های فوق (پرسش ۵) با دمای هوا تغییر می‌کند؟ کدام یک در سیستم‌های متریک و انگلیسی یکسان است؟
۷. تفاوت دمای نقطه شبنم، دمای خشک و دمای مرطوب را شرح دهید. نمادهای اختصاری آن‌ها چیست؟
۸. در یک نمونه هوای مشابه، کدام یک از دماهای فوق (پرسش ۷) کم‌تر و کدام یک بیشتر است؟
۹. چرا کاهش دمای مرطوب هوا نشانگر قابلیت کارایی سرمایش تبخیری آن است؟
۱۰. وقتی هوای شسته شده اتاقی را ترک می‌کند، چرا نمی‌توان برای استفاده مجدد آن را به صورت تبخیری خنک کرد؟
۱۱. بازده اشباع را تعریف کنید. آیا این همان ضریب تاثیر سرمایش هوا است؟
۱۲. چگونه هوای شسته شده می‌تواند از یک اتاق "رطوبت‌زدایی" کند؟ دفع آلاینده‌ها را چطور؟
۱۳. چرا نسبت به سرمایش برودتی، رطوبت‌های بالاتر هوای داخلی، در سرمایش تبخیری قابل تحمل‌تر هستند؟
۱۴. در نمودار رطوبت‌سنجی هوا، چه فرآیندهای ترمودینامیکی در موارد زیر نمایش داده می‌شوند:
 - الف- مسیرهای عمودی رو به بالا و رو به پایین؟
 - ب- مسیرهای افقی به سمت چپ و به سمت راست؟
 - پ- خطوط قطری به سمت بالا-چپ، به موازات خطوط دمای مرطوب؟
 - ت- برخورد و اختلاط دو جریان هوا؟
 - ث- مسیرهای قطری به سمت بالا-راست؟

۱۵. در نمودار رطوبت‌سنجی هوا، نقطه حالت 100 F dbt و 70 F dbt را بیابید. در نمودار متریک رطوبت‌سنجی نقطه حالت 40 C dbt و 30 C wbt را بیابید.

الف- رطوبت نسبی چقدر است؟

ب- حجم ویژه چقدر است؟

پ- انتالپی چقدر است؟

ت- نقطه شبنم چقدر است؟

ث- در صورت اشباع آدیاباتیک شدن آن تا $80\% \text{ rh}$ ، dbt جدید چقدر است؟ wbt جدید چقدر است؟

۱۶. در یک نمودار رطوبت‌سنجی هوا، مطلوب است:

الف- rh در 90 F dbt و 80 F wbt .

ب- حجم ویژه در 105 F dbt و 75 F wbt .

پ- F wbt در $20\% \text{ rh}$ و 90 F dbt .

ت- انتالپی هر پوند هوای خشک در 95 F dbt و $5\% \text{ rh}$.

ث- F dbt و F wbt در 65 F dpt .

۱۷. در یک نمودار متریک رطوبت‌سنجی هوا، مطلوب است:

الف- rh در 38 C dbt و 21 C wbt .

ب- حجم ویژه در 41 C dbt و 24 C dbt .

پ- C wbt در $15\% \text{ rh}$ و 35 C dbt .

ت- انتالپی هر کیلوگرم هوای خشک در 30 C dbt و $10\% \text{ rh}$.

ث- C dbt و C wbt در 21 C dbt .

۱۸. در یک نمودار رطوبت‌سنجی هوا، مسیر فرآیند گرمایی زیر در چه جهتی است:

الف- دریافت یا تلفات گرمای محسوس؟

ب- فرآیند اشباع آدیاباتیک؟

پ- گرمایش و رطوبت‌گیری دریافتی توسط هوای شسته شده پس از ورود به یک اتاق گرم پر از گل و گیاه؟

ت- سرمایش تبخیری با آب گرم ورودی به کولر؟

ث- رطوبت‌زدایی آدیاباتیک با مواد شیمیایی جاذب بخار آب؟

فصل ۴

ویژگی‌های آسایشی در تهویه مطبوع^۲

برخی موارد تهویه مطبوع دارای اهداف فنی و صنعتی است، نظیر صنایع نساجی، دخانیات، مبلمان، غذایی، آب‌نبات‌سازی و واحدهای شیمیایی یا این که موجب خنک‌سازی ماشین‌آلات و دستگاه‌های الکتریکی یا حیوانات و یا گیاهان می‌شود (به فصول ۱۵ و ۱۶ مراجعه کنید). البته، اغلب از تهویه مطبوع برای آسایش بشر و در نتیجه راحتی و بهره‌وری بیشتر وی استفاده می‌شود. تهویه مطبوع محصول عوامل مختلفی از نظر فیزیولوژیکی (تن‌گردی)، معماری و روان‌شناختی است که در ذیل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ترمودینامیک زیستی آسایش

از آنجا که افراد اولویت‌های متفاوتی دارند، لذا هیچ تعریف کامل یا ساده‌ای از آسایش وجود ندارد. با این حال، به نظر با اطمینان می‌توان گفت که اغلب افراد وقتی احساس آسایش می‌کنند که بدون صرف انرژی یا دریافت یا تلفات گرمای بدن، دمای آن را در $98/6^{\circ}\text{F}$ (37°C) حفظ کنند.

بدن انسان یک ماشین است که غذا را سوزانده و آن را به انرژی شیمیایی تبدیل می‌کند که از طریق جریان خون در بدن منتشر می‌شود. حدود ۲۰ درصد این انرژی به انرژی عضلانی تبدیل شده که ۶۰ الی ۷۰ درصد آن به حرارت تبدیل شده و تلف می‌شود. ۸۰ درصد باقیمانده انرژی غذا صرف رشد و

۱ - مطالب این فصل با کمک‌های ارزشمند Alfred Greenberg, P.E., C.E.M. نگارش شده‌است.

۲ - مطالب این فصل با کمک‌های ارزشمند Alfred Greenberg, P.E., C.E.M. نگارش شده‌است.

نمو، جایگزینی سلول‌های مرده و تعادل گرمایی بدن می‌شود. معمولاً هر فرد روزانه به ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ کالری انرژی ورودی نیاز دارد که میزان آن بر حسب اندازه، میزان کار فیزیکی انجام یافته و شرایط خارجی متفاوت است.

فرآیندهای بدنی معمولاً انرژی غذا را به حرارت تبدیل می‌کنند. حدود ۹۰ درصد کالری مصرفی به تدریج به حرارت تبدیل می‌شود. این حرارت از طریق پوست و ریه‌ها دفع می‌شود.

به ویژه این حرارت تولیدی یا متابولیک (ناشی از سوخت و ساز)، بر طبق جدول ۱ این فصل بر حسب میزان فعالیت و اندازه، بدن و همچنین نرخ سوخت و ساز (متابولیسم) فردی متغیر است. مقادیر نشان داده شده، حرارت آزاد شده در هر ساعت از هر فرد در هوای 78 F ($25/6\text{ C}$) است. این حرارت به صورت پیوسته و غیرعمدی تولید شده و باید به محیط اطراف تلف شود.

اگر این حرارت دفع نشود، موجب افزایش دمای بدن از $98/6\text{ F}$ (37 C) و سلب آسایش می‌شود. از سوی دیگر اگر این حرارت با نرخی بیش از تولید آن دفع شود باعث افت دمای بدن شده و موجب احساس سرما می‌شود.

بنابراین حالت ایده‌آل وقتی است که تلفات حرارتی بدن با گرمای تولیدی ناشی از سوخت و ساز بدن در تعادل بوده و نه کم‌تر و نه بیشتر باشد. آسایش وقتی حاصل می‌شود که محیط دقیقاً حرارت بدن را با همان نرخ تولید بپذیرد.

نقطه تعادل بر حسب فعالیت فردی، متابولیسم و میزان پوشش فرق می‌کند. برهم‌کنش ترازهای حرکت هوا، دمای هوا، تابشی میانگین و رطوبت نسبی نیز از اهمیت برخوردار هستند (به فصل ۸ کتاب ASHRAE Fundamentals Handbook. 1981 مراجعه کنید).

جدول ۱- حرارت دفع شده از هر فرد بر حسب Btuh (J/h)

برای گروه ترکیبی		حرارت کل					نمونه فعالیت	درجه فعالیت
		محموس	گروه ترکیبی	کودکان	زنان	مردان		
نهایت	۲۱۰ (۲۲۱/۶)	۳۵۰ (۳۶۹/۳)	۳۰۰ (۳۱۶/۵)	۳۴۰ (۳۵۸/۷)	۴۰۰ (۴۲۲)	تئاتر، سینما	ساکن نشسته	
	۱۹۰ (۲۰۰/۵)	۲۳۰ (۲۴۲/۷)	۳۶۰ (۳۷۹/۸)	۴۱۰ (۴۲۲/۶)	۴۸۰ (۵۰۶/۴)	اداره‌ها، آپارتمان	نشسته، کار سبک، نوشتن	
	۲۵۵ (۲۶۹/۰)	۵۱۰ (۵۲۸/۱)	۴۸۰ (۵۰۶/۴)	۵۴۵ (۵۷۵/۰)	۶۴۰ (۶۷۵/۲)	اداره‌ها، آپارتمان	نشسته، کار سبک، تایپ	
	۳۲۵ (۳۴۲/۹)	۶۴۰ (۶۷۵/۲)	۶۰۰ (۶۳۱/۰)	۶۸۰ (۷۱۷/۴)	۸۰۰ (۸۴۴/۰)	خرده فروشی، بانک	ایستاده، کار سبک یا راه رفتن آرام	
	۴۳۵ (۴۵۹/۰)	۷۸۰ (۸۲۲/۹)	۶۶۰ (۶۹۶/۳)	۷۵۰ (۷۹۱/۳)	۸۸۰ (۹۲۸/۵)	کارخانه	کار سبک پشت میز	
	۶۹۵ (۷۳۳/۳)	۱۰۴۰ (۱۰۹۷/۳)	۷۸۰ (۸۲۲/۹)	۸۸۵ (۹۲۳/۷)	۱۰۴۰ (۱۰۹۷/۳)	کارخانه	راه رفتن با سرعت ۰.۱۳ m/s، کار سبک ماشینی	
	۸۷۵ (۹۲۳/۲)	۱۲۸۰ (۱۳۵۰/۵)	۱۰۲۰ (۱۰۷۶/۲)	۱۱۵۵ (۱۲۱۸/۶)	۱۳۶۰ (۱۴۲۴/۹)	سالن رقص	رقص آرام	
	۱۰۳۵ (۱۰۹۲/۰)	۱۶۰۰ (۱۶۸۸/۰)	۱۲۰۰ (۱۲۶۶/۰)	۱۳۶۰ (۱۴۳۴/۹)	۱۶۰۰ (۱۶۸۸/۰)	کارخانه	کار سنگین، کار ماشینی سنگین، بلند کردن وزنه	
	۱۱۶۵ (۱۲۲۹/۱)	۱۸۰۰ (۱۸۹۹/۱)	۱۵۰۰ (۱۵۸۲/۶)	۱۷۰۰ (۱۷۹۳/۶)	۲۰۰۰ (۲۱۰۰/۰)	سالن ورزش	کار سنگین، دو و میدانی	
	۳۲۵ (۳۴۲/۹)	۵۸۰ (۶۱۱/۹)	۳۹۰ (۴۶۴/۲)	۴۴۰ (۴۶۴/۲)	۵۲۰ (۵۴۸/۶)	رستوران*	نشسته، غذا خوردن	
	۶۱۵ (۶۴۸/۹)	۹۶۰ (۱۰۱۲/۸)	۹۰۰ (۹۴۹/۵)	۱۰۲۰ (۱۰۷۶/۲)	۱۲۰۰ (۱۲۶۶/۰)	سالن بولینگ**	بولینگ	

یادآوری: مقادیر مندرج در جدول بر اساس دمای خشک اتاق C ۲۵/۶ (۷۸ F) هستند. برای دمای خشک اتاق C ۲۶/۶ (۸۰ F) حرارت کل ثابت محاسب شده اما مقدار گرمای محسوس باید تقریباً ۸ درصد و مقدار گرمای نهان متناسب با آن افزایش یابد. مقادیر تا حد Btuh ۱۰۰ در حالت متریک متناسب با آن گرد شده‌اند. دریافت حرارت برای گروه ترکیبی بر اساس درصدهای عادی مردان، زنان و کودکان بر طبق کاربرد درج شده بوده با این فرض که دریافت از یک زن بزرگسال ۸۵٪ یک مرد بزرگسال و دریافت از یک کودک ۷۵٪ یک مرد است.

* مقدار حرارت کل تنظیمی برای غذا خوردن در رستوران شامل Btuh ۶۰۰ (J/h) ۳۰ (۶۳۳) برای غذای به ازای هر نفر، Btuh ۳۰۰ (J/h) ۳۰ (محسوس و Btuh ۳۱۷ (J/h) ۳۰ نهان است.

** برای بولینگ، برای یک نفر در هر خط بولینگ که در حال بولینگ بوده و سایر افراد نشسته هستند Btuh ۴۰۰ (J/h) ۴۰۰ یا در وضعیت ایستاده و در حال راه رفتن آرام

Rtinh ۸۰۰ (۱۸۴۴)

روش‌های دفع حرارت بدن

گرمای متابولیک بدن به چندین روش دفع می‌شود: همرفت، تابش، تبخیر و به میزان کم‌تری از طریق رسانش.

سرمایش از طریق همرفت عبارت است از انتقال حرارت از پوست و لباس به هوای اطراف. این انتقال حرارت به صورت گسترده‌ای با سرعت هوا، دمای هوا و مقدار لباس تغییر می‌کند. وقتی هوا ساکن است، لایه‌های چسبیده هوای ساکن موجب عایق شدن ما در برابر هوای اتاق شده در نتیجه انتقال حرارت کم است. هر چه سرعت هوا بیشتر باشد، این لایه‌ها نازک‌تر بوده و در نتیجه انتقال حرارت از آن بیشتر می‌شود.

با فرض سرعت هوای مناسب و این که هوا سردتر از پوست است، انتقال حرارت همرفت نیز مستقیماً با اختلاف دمای پوست و هوا متناسب است. از آن جا که در هنگام تابستان، دمای میانگین پوست از 87 F (30.6 C) تا حداکثر 94 F (34.4 C) است، دفع حرارت از طریق همرفت، با افزایش دمای هوا کاهش یافته و عملاً در 94 F (34.4 C) قطع می‌شود. دماهای هوای بالاتر موجب همرفت گرما به بدن شده و موجب افزایش حرارتی می‌شوند که باید دفع شود.

انتقال حرارت همرفت مستقیماً متناسب با سطحی از پوست بدن است که در معرض هوا قرار دارد در نتیجه پوشیدن لباس شل و سوراخ‌دار مانع از حداقل‌سازی آن می‌شود.

سرمایش از طریق تابش عبارت از انتقال حرارت توسط تابش فروسرخ از یک سطح گرم‌تر به یک سطح سردتر است. این نوع انتقال حرارت با توان چهارم اختلاف دمای بین سطوح تغییر می‌کند؛ بنابراین اساساً این نوع انتقال حرارت با یک تغییر شرایط جزئی تحت تاثیر قرار می‌گیرد. اغلب تابش از انسان‌ها به دیوارها و شیشه‌ها صورت می‌گیرد. وقتی فاصله کوتاه است دمای این سطوح تاثیر زیادی بر روی آسایش دارد. وقتی دمای هوا، دیوار و شیشه یک اتاق عادی در 72 F (22.2 C) است، دو سوم اتلاف حرارتی از پوست به طریق تابش صورت می‌گیرد. وقتی سطوح در 87 F (30.6 C) هستند تنها یک سوم اتلاف به طریق تابشی است. وقتی سطوح در 94 F (34.4 C) هستند، بدون توجه به فاصله، انتقال حرارت تابشی قطع می‌شود.

وقتی دمای سطوح مجاور از 94 F (34.4 C) بیشتر می‌شود، جهت حرارت تابشی بر عکس شده و به بدن وارد می‌شود. خوشبختانه، تبخیر عموماً می‌تواند بار اضافی را بر عهده بگیرد.

همچنین تابش با مربع فاصله بین سطوح رابطه معکوس دارد. با دو برابر شدن فاصله، تابش یک چهارم شده و با نصف شدن فاصله تابش چهار برابر می شود. بنابراین بر اساس اثرات تابش، اتاق های کوچک در تابستان گرم تر و در زمستان سردتر از اتاق های بزرگ هستند.

سقف های گرم نیز موجب عدم آسایش عمده ای در تابستان می شوند زیرا سرها و شانه ها اغلب در فاصله ۲ تا ۵ فوت (۰/۶ تا ۱/۵ متر) در زیر آن قرار دارند. اتاق های با سقف بلند در تابستان خنک تر به نظر می رسند.

تابش با رنگ سطوح نیز تغییر می کند. رنگ های روشن، حرارت کمتری را در مقایسه با رنگ های تیره جذب یا نشر می کنند. در نتیجه، سقف ها، دیوارها و پرده های سفید موجب افزایش خنکی در تابستان و گرما در زمستان می شوند. البته لباس سفید موجب افزایش خنکی در زیر نور آفتاب و در مناطق دارای حرارت تابشی شده ولی لباس تیره می تواند در محیط های غیر تابشی نظیر جنگل های پربسیه یا اتاق های بدون دیوارها و سقف گرم، خنک تر باشد. پوشیدن لباس سفید، همچون اعراب، بهتر می تواند مانع از حرارت تابشی شود تا این که برهنه بود؛ ولی در محیط های غیر تابشی، مثل مناطق جنگلی، پوست برهنه خنکی بیشتری دارد.

سرمایش از طریق تبخیر عبارت است از دفع حرارت بدن از طریق تبخیر عرق پوست و آب ریه ها و سیستم تنفسی. در این فرآیند سرمایش تبخیری، هر پوند آب تبخیر شده حدود 1050 Btu (1050 kJ/kg) حرارت را دفع می کند. بنابراین تبخیر بزرگ ترین محافظ بدن در برابر حرارت است. تاثیر آن با دمای هوا، سرعت هوا و رطوبت نسبی تغییر می کند.

در کم تر از 75 F ($23/9 \text{ C}$) تنها ۲۵ درصد انتقال حرارت درجا در اثر تبخیر بوده و تعریق به هیچ وجه قابل ملاحظه نبوده و کم تر از یک اونس (کم تر از $28/3$ گرم) در ساعت است. البته وقتی دمای هوا 80 F تا 90 F ($26/7 \text{ C}$ تا $32/2 \text{ C}$) است، تعریق فعال آغاز می شود (برای مردان در مقایسه با زنان 2 deg F ($1/1 \text{ deg C}$) کم تر است). در 90 F ($32/2 \text{ C}$) تبخیر نصف دفع حرارتی کلی را تشکیل می دهد. در هوای 94 F ($34/4 \text{ C}$)، وقتی انتقال حرارت همرفتی ظاهر شده و سرمایش تابشی ناچیز می شود، تبخیر عملاً عامل تمام حرارت دفع شده است.

در بیش از 94 F ($34/4 \text{ C}$)، که انتقال حرارت همرفتی و تابشی به بدن صورت می گیرد، تعریق می تواند از یک کوارت ($0/95$ لیتر) در ساعت بیشتر شود. به منظور تسریع تبخیر از ریه ها و سیستم تنفسی، افراد معمولاً تند تند نفس کشیده یا به سرعت از طریق دهان نفس می کشند تا از سطح خیس آن بهره بگیرند.

در اثر افزایش سرعت هوا، انتقال حرارت تبخیری نیز افزایش می‌یابد. در هوای ساکن، پوست و لباس توسط لایه‌های هوای راکدی احاطه می‌شود که از رطوبت اشباع بوده و قادر به جذب رطوبت بیشتر نیستند. بنابراین، نرخ تبخیر پایین بوده و آسایش کم است. افزایش سرعت هوا، هوای تازه را به پوست نزدیک‌تر کرده و باعث تسریع تبخیر می‌شود. این امر باعث افزایش انتقال حرارت همرفت و تأثیر مضاعف می‌شود. در کنار سایر عوامل، دماهای میانگین موثر هوا که موجب آسایش می‌شوند تقریباً متناسب با سرعت هوا تغییر می‌کنند. توسط فن‌هایی که سرعت اتاق را به ۵۰ تا ۲۰۰ فوت در دقیقه (۰/۲۵ تا ۱/۰۲ m/s) می‌رساند آسایش کاملی ایجاد می‌شود. اثر سرمایشی حرکت در خودروهای روباز نیز کاملاً بدیهی است.

البته عامل کنترل‌کننده در سرمایش تبخیری بدن، رطوبت نسبی هوا است. رطوبت نسبی نشانگر درجه اشباع موجود و توانایی انجام سرمایش از طریق جذب رطوبت است. در نتیجه، دفع تبخیری حرارت بدن رابطه عکس با رطوبت نسبی هوا دارد. وقتی رطوبت زیاد است دفع حرارت بدن از طریق تبخیر ضعیف بوده و موجب سلب آسایش می‌شود. تبخیر از ریه‌ها نیز اندک بوده و شخص احساس خفقان می‌کند.

چون در 94°F ($34/4^{\circ}\text{C}$)، انتقال حرارت‌های همرفتی و تابشی بدن شروع به افزودن حرارت می‌کنند، در بالای این دما سرمایش بدن تقریباً به صورت کامل به تبخیر بستگی داشته که مقدار آن عمدتاً تحت تأثیر رطوبت نسبی قرار دارد. وقتی رطوبت نسبی نامطلوب است، افراد چاره‌ای نداشته و فعالیت بدنی خود را کاهش می‌دهند تا تولید حرارت متابولیک با نرخ دفع برابر شود.

از آن جا که بیشتر حرارت بدن از طریق تبخیر دفع می‌شود، میزان جذب حرارت توسط هوای اطراف شامل گرماهای محسوس و نهان می‌شود. گرمای محسوس دمای هوا را افزایش داده و گرمای نهان موجب تبخیر رطوبت در هوا می‌شود.

مقادیر نسبی گرماهای محسوس و نهان در جدول ۱ این فصل درج شده‌اند. این که حرارت به صورت محسوس یا نهان دفع شود برای بدن بی‌تفاوت است.

سرمایش از طریق رسانش مستلزم تماس پوست با مواد خنک‌تر است. رسانش از بدن معمولاً غیرقابل ملاحظه است زیرا کم‌تر ماده رسانایی در تماس کامل قرار می‌گیرد. جریان حرارت از پاها به کف معمولاً توسط کفش یا فرش بی‌اثر می‌شود. پستی و نشیمن صندلی‌ها، اگر از مواد رسانای بهتر از چوب ساخته شوند، می‌توانند گرمای بدن را از طریق لباس نازک دفع کنند ولی در زمستان نیز موجب احساس سرمای بیشتری می‌شوند. سرمایش تماسی از این دست می‌تواند در آینده در کارخانجات، نوردهای فولاد، هواپیمای جت، و دیگر مشاغل خاص کاربرد داشته باشد.

امروزه اغلب سرمایش رسانشی از طریق استحمام (آب تنی) صورت می گیرد. به دلیل افزایش توام رسانش و همرفت، انتقال حرارت به آب ولرم ۳۰ برابر بیشتر از هوای ساکن معادل است. البته به نظر می رسد کاربرد عملی استحمام برای سرمایش بیشتر به فعالیت های تفریحی برمی گردد.

یکی از مهم ترین حالات سرمایش رسانشی نوشیدن مایعات یخ دار است. آب بلعیده شده تا رسیدن به دمای بدن حرارت جذب می کند. این آب به ازای هر درجه فارنهایت پایین بودن دمای اولیه آن نسبت به دمای بدن حدود ۱ Btu/lb (۱ kJ/kg) به ازای هر درجه سلسیوس، و تا حداکثر ۶۰ Btu به ازای هر پینت^۱ (۸/۴ kJ/kg) به ازای هر نیم لیتر) حرارت جذب می کند. غذاهای سرد، الکل، و نوشیدنی های سرد دارای اثر مشابه و البته با تاثیر کم تر بوده که البته پس از هضم موجب تاثیر گرمایشی می شوند. افرادی که کار سنگین انجام می دهند به شدت عرق کرده و ممکن است در ۲۴ ساعت بین ۶ تا ۸ کوارت (۵/۷ تا ۷/۶ لیتر) آب بنوشند. این آب در سرمایش رسانشی موثر است. البته مایعات نوشیده شده نباید خیلی سرد باشند (یعنی نزدیک به انجماد)، زیرا به دلیل نیاز بیشتر معده به خون، فعالیت قلب افزایش می یابد.

عوامل موثر بدنی

به طور خلاصه، وقتی هوا، محیط اطراف یا مواد در حال تماس در دمایی کم تر از ۹۴ F (۳۴/۴ C) هستند، بدن از طریق همرفت و تابش و گاه از طریق رسانش گرمای متابولیک از دست می دهد. در دماهای بالاتر، افزایش دما به طرق فوق موجب افزایش ناراحتی می شود.

خوشبختانه، در تمام دماهایی که موجب تعریق می شود، سرمایش تبخیری از طریق پوست و سیستم تنفس موثر است. البته نرخ تبخیر به صورت عمده تحت تاثیر رطوبت نسبی هوا و سرعت حرکت است. سرعت حرکت بر نرخ همرفت نیز تاثیر داشته و در نتیجه دارای اهمیت زیادی است.

بدین ترتیب، در صورت نادیده گرفتن میزان لباس و فواصل تابشی، عوامل کلیدی حاکم بر دفع حرارت متابولیک بدن انسان و در نتیجه بر روی آسایش از قرار زیر است:

۱. دمای هوا
۲. دمای دیوارها، سقف، و دیگر موارد احاطه کننده (دمای تابشی میانگین)^۲ (MRT)
۳. رطوبت نسبی هوا
۴. سرعت گردش هوا

۱- واحد حجم در سیستم انگلیسی که ۰/۵۶۸ لیتر است: Pint-

۲- Mean Radiant Temperature

این عوامل بر همدیگر تاثیر متقابل دارند. ایجاد آسایش مستلزم حداقل سه و ترجیحاً هر چهار عامل فوق است.

کنترل‌ها و محدودیت‌های دمای زیستی

بدن انسان از طریق از دست دادن کنترل دما در دست‌ها، پاها، سر و پوست، دمای اندام‌های حیاتی خود را در شرایط عادی حفظ می‌کند. وقتی این اندام‌ها بیش از حد گرم می‌شوند، قلب جریان حرارت از طریق آن‌ها به پوست را افزایش داده و موجب سرخ شدگی صورت و افزایش دمای پوست شده تا موجب تسریع تلفات حرارتی به هوا و محیط شود. بنابراین دفع حرارت متابولیک در آب و هوای مرطوب مستلزم حداکثر گردش خون بوده و در نتیجه موجب تحریک قلب شده که می‌تواند به قلب فشار بیاورد.

از یک میزان دفع حرارتی به بالا، بدن دیگر قادر به ادامه فعالیت نیست. وقتی فعالیت موجب تداوم تولید حرارت تا بالاتر از ظرفیت جذب محیطی بشود، دمای بدن افزایش یافته، تپش قلب شدت گرفته، پوست سرخ شده و تنفس به شماره می‌افتد. اگر میزان فعالیت عمداً کاهش نیابد، خستگی، سر درد، سرگیجه، خیرگی چشم، گرفتگی عضلانی، زوال ذهنی یا غش به صورت غیر عمدی موجب کاهش آن شده و در نتیجه خون ناکافی به قلب می‌رسد. این امر در افراد سالمند یا دارای بیماری قلبی مرگبار است.

کار کردن مداوم در شرایط نامطلوب می‌تواند موجب افزایش دمای بدن به $F 103$ ($C 39/4$) بشود. در ادامه ممکن است شخص دچار گرم‌زدگی شود. سپس دمای بدن می‌تواند به صورت ناگهانی تا $F 105$ ($C 40/6$) بالا رفته، تعریق قطع شده و شخص به حالت کما برود. اگر دمای بدن کاهش نیابد، آسیب مغزی یا مرگ می‌تواند اتفاق بیافتد.

عوامل معماری و روانشناختی

فرآیندهای آسایشی فیزیولوژیکی فوق، تحت تاثیر عوامل غیر قابل پیش‌بینی هستند. برای مثال، عوامل تعیین‌کننده آسایش مثل دمای خشک داخل و دمای تابشی میانگین (MRT)، که اندازه‌گیری آن دشوار است، به صورت مستقل با موارد زیر تغییر می‌کنند: (۱) منابع حرارتی داخلی، (۲) جهت ساختمان نسبت به تابش خورشیدی، (۳) میزان عایق‌کاری و اشعه‌های برخورد کننده (سایه خارجی و ضریب بازتاب تابش)، (۴) اندازه و (۵) جرم.

دو عامل آخر کم تر در نظر گرفته می شوند. البته هر چه ساختمان بزرگ تر باشد، فاصله محتمل بین ساکنین و دیوارها، پنجره ها و سقف های تابنده حرارت بیشتر بوده و تقریباً بدون در نظرگیری MRT، تابش کمتری به افراد رسیده و سطح آسایش بالاتر است.

ساختمان های بزرگ و ساختمان های با دیوارهای ضخیم، به دلیل جرم بالاتر دیوارها، کف و اثاثیه، سرنشینان را مورد حفاظت قرار می دهند. آن ها ظرفیت ذخیره حرارتی را ایجاد کرده و توأمأً موجب حداقل سازی و تاخیر در اعمال حرارت از طریق تجهیزات گرم شده داخلی و گرمای تابشی می شوند.

حرارت خارجی ورودی به این جرم ها بیشتر تمایل به ذخیره شدن دارد تا این که همچون مواد سبک تر از آن ها رسانش شود. پس، ورود حرارت به اتاق ها می تواند به مقدار قابل ملاحظه ای به تعویق بیافتد. در مورد ساختمان های اداری، حرارت روز ممکن است تا شبانگاه و ترک کارکنان نیز وارد نشود(به شکل ۱ این فصل مراجعه کنید).

مقداری از حرارت کل ورودی اتاق ها ذخیره شده و کاهش بیشتری می یابد. در واقع، در انتهای بعدازظهر که دمای هوای بیرون کاهش یافته یا آفتاب از روی برخی دیوارها کنار می رود، مقداری از حرارت ذخیره شده به بیرون برگشته و جریان حرارت به داخل کاهش می یابد.

عوامل معماری فوق، اغلب به جای محاسبه، چشم پوشی می شوند. اثرات روانشناختی مربوط به رنگ های داخلی نیز کم تر قابل محاسبه هستند. رنگ های سفید، آبی روشن و سبز احساس خنکی را القا کرده و رنگ های نارنجی، قرمز و قهوه ای موجب احساس گرمی می شوند که تماماً با شرایط فیزیکی بی ارتباط است. این اثرات می توانند موجب تقویت یا تضعیف احساسات اتمسفریک و تابشی شوند. در واقع، رنگ های داخلی مناسب می توانند موجب کاهش شکایت از عدم خنک شدن یا گرم شدن اتاق ها بشوند.

نیمی از رضایت انسان از شرایط داخلی، ذهنی است. در موارد ذیل به نظر می رسد که آسایش نسبی است: هر چه شرایط بیرونی بدتر به نظر برسد بهبود شرایط داخل به نظر ارزشمندتر می رسد. به صورت مشابه، هر چه فضاهای صنعتی داغ تر باشند به نظر خنک سازی به صورت فوران موضعی خنک کننده بر روی کارگران رضایت بخش تر است(فصل ۱۳)، اگر چه نتوان "مناطق آسایش" مورد بحث در زیر را اجرا کرد. بنابراین هر گونه روش سرمایشی می تواند بهتر از روش های دیگر به نظر برسد. رضایت مندی از روش سرمایش موجود می تواند حتی در مقایسه با هزینه یک روش سرمایشی بهتر نیز به صورت نسبی ایجاد شود(به فصل ۲۴ مراجعه کنید).

از آن جا که عوامل معماری و روانشناختی قابل اندازه گیری نیستند، در روش های مرسوم محاسباتی عموماً از آن ها چشم پوشی شده و تنها دما و رطوبت هوای داخل، سرعت گردش هوا و MRT در نظر

گرفته می‌شود. از آن جا که در بیشتر موارد اندازه‌گیری MRT محل دشوار است، اغلب مقدار آن با دمای خشک هوای داخل برابر فرض شده و در نتیجه بی‌اثر است. در ساختمان‌های در معرض تابش خورشیدی که عایق کاری ضعیفی دارند مقدار MRT معمولاً از دمای خشک داخلی بزرگ‌تر است، ولی در ساختمان‌های عایق که در معرض تابش خورشید نیستند مقدار آن معمولاً کوچک‌تر است. تحلیل آسایش نسبتاً خام و تجربی است. مهندسان نباید فراموش کنند که بسیاری از عوامل چشم-پوشی شده یا کنار گذاشته می‌شوند.

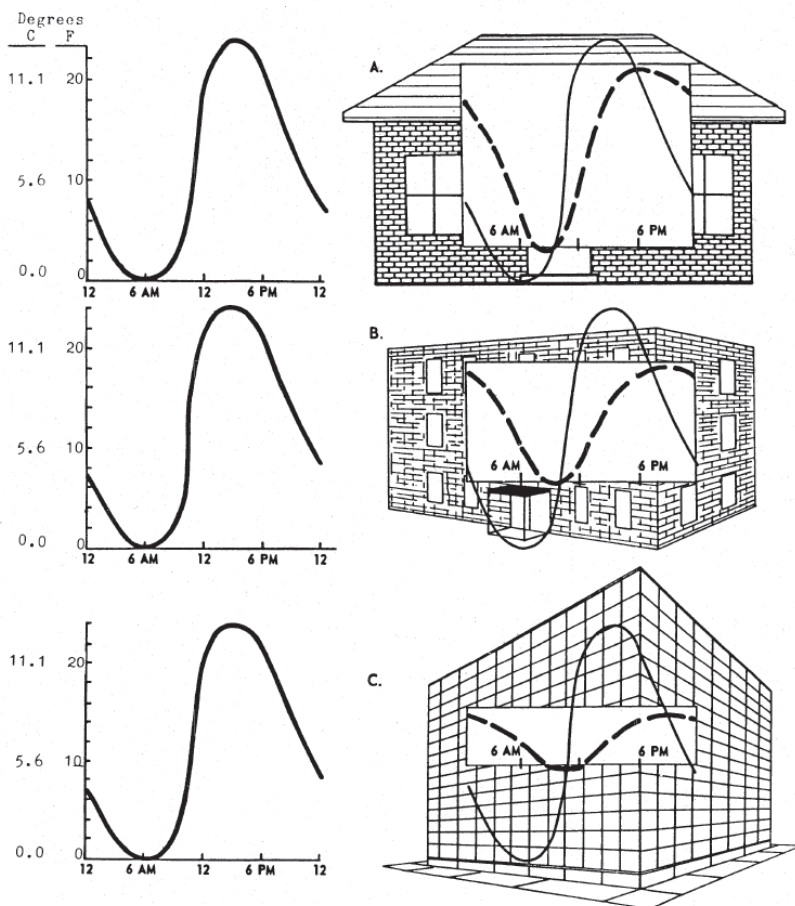
دماهای موثر و مناطق آسایش

از آن جا که دما و رطوبت هوا، حرکت هوا و MRT بر هم تاثیر متقابل داشته و مستقل نیستند، آن‌ها را باید با یکدیگر در نظر گرفت. **دمای موثر** ترکیبی از دما، رطوبت نسبی و سرعت هوا است که در آن MRT بدون اثر در نظر گرفته می‌شود. بر اساس آزمون‌هایی که در آزمایشگاه تحقیقاتی ASHRAE و چند جای دیگر انجام شده دمای موثر می‌خواهد تا دمایی را که افراد احساس می‌کنند را اندازه‌گیری کند. در مقایسه با دمای خشک، این دما بهتر می‌تواند شرایط آسایش را اندازه‌گیری کند زیرا شامل اثرات رطوبت و حرکت هوایی می‌شود که پوست احساس می‌کند.

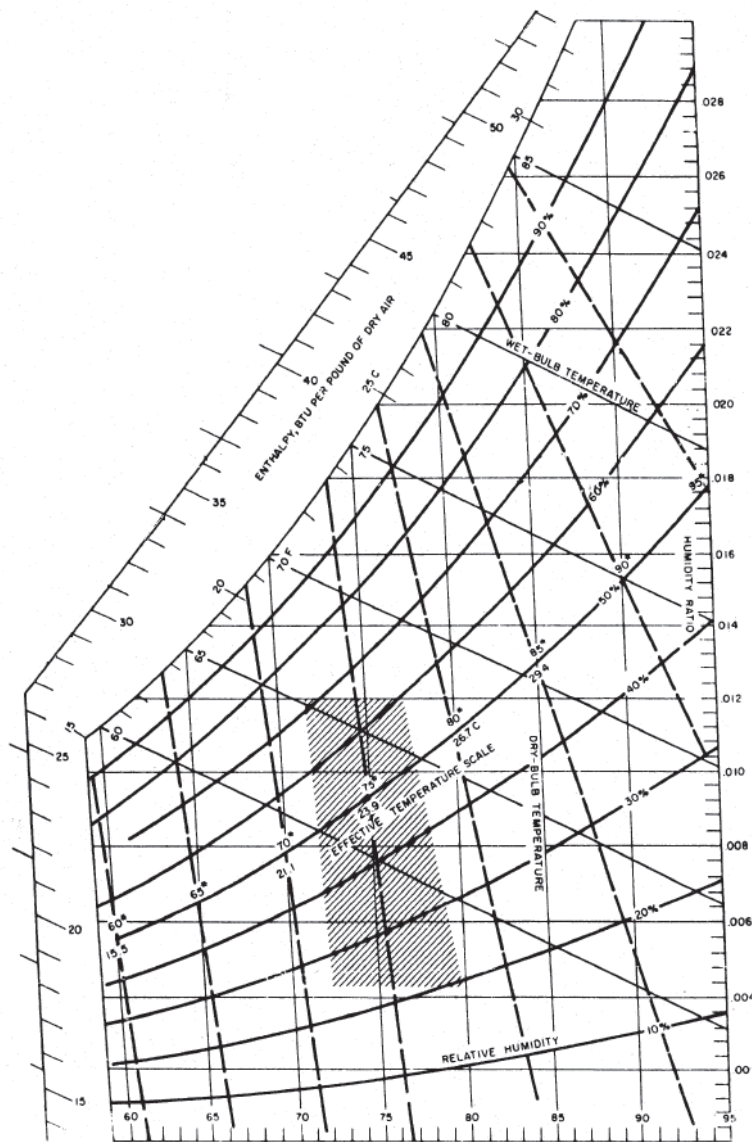
این تعاملات مکانیکی و عینی بر اساس آزمون‌های آزمایشگاهی است که در آن‌ها از مشخصه‌های ساختمان‌های واقعی در آب و هوای واقعی و همچنین جنبه‌های ذهنی و روانشناختی انسان، که در بالا مورد بحث قرار گرفت، صرف نظر شده‌است. تا وقتی که این موارد را بتوان مورد آزمون قرار داد، محدودیت‌های **نمودارهای آسایش** را باید به خاطر داشت. با این حال، کاربرد آن‌ها ضروری است.

نمودارهای آسایش

برای نمایش بهتر، مناطق آسایش را بر روی نمودارهای استاندارد رطوبت سنجی هوا چاپ می‌کنند، هر چند این نمودارها نه گرمای تابشی و نه سرعت هوا را نمایش نمی‌دهند. در شکل ۲ این فصل، نمودار آسایش رسمی ASHRAE نشان داده شده‌است. این نمودار برای کارکنان نشسته با لباس نازک در یک اداره، خانه، مدرسه یا محیط‌های مشابه عادی است که در آن دمای تابشی میانگین (MRT) با دمای خشک هوای داخل برابر گرفته شده، ارتفاع کم‌تر از ۷۰۰۰ ft (۲۱۳۴ m) و سرعت هوای گردش اتاق کم‌تر از ۴۰ fpm (۰/۲ m/s) است.



شکل ۱- تاثیر اندازه و جرم ساختمان بر آسایش انسان در داخل خانه. منحنی‌های سمت چپ معرف سیکل‌های روزانه دمای خشک هوای بیرون در یک روز عادی تابستان است که در این جا 24 deg F ($13/3 \text{ deg C}$) است. **عمارت مسکونی A** با عایق کاری، تابش خورشیدی و جرم عادی، نشانگر دمای خشک داخلی با نوسان 17 deg F ($9/4 \text{ deg C}$)، با تاخیر ۳ ساعت پس از شرایط بیرونی است. حداکثر دماهای داخلی در بعدازظهر رخ می‌دهد. ساکنین اتاق‌های کوچک نسبتاً در معرض حرارت تابشی دیوارها و پنجره‌ها بوده که به سمت آن‌ها وارد می‌شود. **ساختمان کوچک B** با طبقات متعدد، دیوارهای ضخیم‌تر و جرم بیشتر داشته و دارای سیکل‌های دمای خشک داخلی 12 deg F ($6/7 \text{ deg C}$) است که دارای تاخیر ۴/۵ ساعت نسبت به شرایط بیرونی است. حرارت نسبتاً کم‌تری به بخش‌های مرکزی ساختمان رسیده و حداکثر دمای داخلی معمولاً پس از ساعات کار عادی رخ می‌دهد. اتاق‌های مفروض بزرگ‌تر و سقف‌های بلندتر موجب قطع تابش به سمت داخل می‌شود. **ساختمان بزرگ C** دارای جرم بالایی برای دیوارها، کف و سازه است. دمای خشک داخلی آن دارای نوسان 5 deg F ($2/8 \text{ deg C}$) در روز است. حرارت خارجی اندکی به اتاق‌های مرکزی می‌رسد. حداکثر دماهای داخلی کاملاً پس از ساعات کار عادی رخ می‌دهد.



شکل ۲- یک نمودار رطوبت سنجی اصلاح شده ASHRAE دارای منطقه آسایش (ناحیه هاشور خورده) برای ساکنین بدون تحرک و با لباس نازک در شرایط داخلی با دمای تابشی میانگین (MRT) برابر با دمای خشک، ارتفاع کم‌تر از ۷۰۰۰ (۲۱۳۴ m) و سرعت هوای گردشی اتاق کم‌تر از ۴۰ fpm (۰/۲ m/s). این سرعت معرف فضاهایی است که از طریق سرمایش برودتی خنک می‌شوند. برای اکثر شهروندان، محل تقاطع دماهای خشک و مرطوب هوای اتاق که به درون این منطقه می‌افتند بر طبق آزمون‌های ASHRAE نشانگر آسایش است. خطوط دمای موثر که معرف احساس آسایش ثابت هستند، خطوط عمودی دمای خشک را با زاویه کوچکی در روی منحنی رطوبت نسبی ۵۰٪ قطع می‌کنند که به عنوان

مقیاس (درجه) دمای موثر نیز عمل می کنند. این خطوط دارای همان مقدار دما (سلسیوس یا فارنهایت) خطوط متقاطع بوده ولی در عوض به عنوان دمای ET^* مشخص می شود که علامت ستاره موجب تفاوت آن ها با خطوط دمای موثری می شود که جایگزین آن شده اند.

منطقه آسایش یک ناحیه هاشور خورده مرکزی به شکل تقریبی یک مستطیل عمودی است. اگر ترکیب دماهای خشک و مرطوب اتاق در داخل آن بیافتد معرف شرایط آسایش برای اکثر افراد مورد آزمون است. در نزدیک خط مرکز عمودی این منطقه، ET^* (۲۳/۹ C) تقریباً برای همه شرایط آسایش برقرار است. درصد افراد آسوده در سمت های چپ (سردتر) و راست (گرم تر) تنزل کرده و میزان این تنزل در خارج از این ناحیه شدیدتر است.

این نمودار خطوط و مقیاس جدیدی به نام دمای موثر را نشان می دهد. این خطوط معرف احساس آسایش ثابت هستند که خطوط عمودی دمای خشک را با زاویه کوچکی در مجاور سمت چپ منطقه قطع می کند و مقدار آن با حرکت به سمت راست نمودار بزرگ تر می شود. دمای خشک مربوط به خطوط ET (دمای موثر) در طی رطوبت نسبی ۵۰ درصد، موجب ایجاد مقیاس (درجه) دمای موثر می شوند. این خطوط دارای همان مقدار دمای (سلسیوس یا فارنهایت) مربوط به خطوط متقاطع دمای خشک بوده ولی در عوض به عنوان دمای ET^* مشخص می شوند که علامت ستاره موجب تفاوت آن ها با خطوط دمای موثری می شود که جایگزین آن شده اند.

قابلیت محدود

منطقه آسایش دارای کاربرد محدودی در مورد سرمایه‌ش تبخیری^۱ است. نخست این که، این منطقه سرعت هوای اتاق را بر اساس مشخصه های سرمایه‌ش برودتی^۲ فرض می کند که مقدار آن ۲۰ تا ۴۰ درصد حداقل مقدار رایج در سرمایه‌ش تبخیری مستقیم است، البته برای سرمایه‌ش تبخیری غیرمستقیم دارای یک مرحله دوم برودتی، این مقادیر مناسب هستند.

دوم این که این منطقه دارای خطوط افقی بالا و پایین (مربوط به نقطه شبنم و نسبت رطوبت) ثابتی بوده که هدف آن حداقل سازی مشکلات تنفسی، کپک زدگی و موارد مشابه است. به نظر می رسد که حدود رطوبت نسبی در این جا موثر بوده و می تواند تحلیل آسایش را بر هم بزند. نسبت های رطوبت با سرمایه‌ش برودتی برآزش بهتری دارند تا با انواع سرمایه‌ش تبخیری.

1- Evaporative cooling
2- Refrigerative cooling

سوم این که خطوط بالا و پایین، تمام تعاریف مربوط به خطوط دمایی موثر را، به عنوان خط آسایش ثابت، نقض می‌کنند. تمام آزمون‌ها نشان می‌دهد که آسایش انسان دارای پیوستگی بوده و به فاصله بین خطوط نقطه شب‌نم محدود نمی‌شود.

البته خطوط نقطه شب‌نم، تخمین خامی از آسایش برودتی اقتصادی را پیشنهاد می‌کنند. در بالای خط فوقانی، هزینه هوارسانی می‌تواند زیاد شود و در پایین خط تحتانی میزان نیاز به کمپرسور ممکن است بسیار بالا باشد. اما این امر به احساس آسایش یا سرمایه‌گذاری ربطی ندارد. آسایش لازم به بالا و زیر منطقه مشخص شده امتداد داشته و به صورت یک چهار ضلعی بلندتری است که از چپ و راست توسط خطوط دمایی موثر احاطه می‌شود (به شکل ۳ این فصل مراجعه کنید).

تطبیق نمودار آسایش با سایر شرایط

به غیر از محدودیت‌های ناشی از ثابت بودن نقطه شب‌نم، منطقه آسایش ASHRAE برای سرعت‌های بالاتر هوای داخل و تطابق انسان با شرایط آب و هوایی تنظیم می‌شود.

نخست، این منطقه به منظور تحمل دمایی خشک بالاتر گسترش می‌یابد. مرز سمت راست آن تا آن جا به سمت راست حرکت می‌کند که نرخ گردش هوا به حدود 350 fpm ($1/8 \text{ m/s}$) افزایش یابد. با فرض بلندتر بودن این منطقه که در بالا به آن اشاره شد، این منطقه امکان ارائه سرمایه‌گذاری تبخیری مستقیم را به منظور ایجاد آسایش فراهم می‌سازد.

مرز منطقه در سرعت‌های پایه، خط ET^* حدود $57/78 - 5 \text{ F}$ ($25/25 - 3/6 \text{ C}$) را تقریب می‌زند. بر طبق نحوه انجام فعالیت‌های انسان، سرعت هوای 350 fpm ($1/8 \text{ m/s}$) موجب حرکت این خط به سمت راست می‌شود. در مورد مشاغل کم‌تحرك، خط ET^* حدود 4 deg F ($2/2 \text{ deg C}$) حرکت می‌کند. برای فعالیت‌های متوسط، خط ET^* به میزان $5/5 \text{ deg F}$ ($3/1 \text{ deg C}$) حرکت می‌کند و برای فعالیت‌های شدید خط ET^* ، 8 deg F ($4/4 \text{ deg C}$) حرکت می‌کند.

به نظر می‌رسد که تنظیمات فوق، در مورد منطقه آسایش، از نظر سرعت هوای اتاق، به سختی می‌تواند استانداردهای سرمایه‌گذاری تبخیری را برآورده کند. واضح است که این تنظیمات نمی‌تواند کاربردهای گسترده صنعتی در مورد سرمایه‌گذاری نقطه‌ای (فصل ۱۳)، که طی آن کارکنان در معرض فوران‌های هوایی با سرعت 400 تا 4000 fpm ($0/3 - 2/20 \text{ m/s}$) هستند، را تحت پوشش قرار دهد. داده‌های قدیمی‌تر زیر در مورد افراد فعال تطابق خیلی بهتری دارند.

به طور مشابه، این درجات سرمایه‌گذاری نیز مرز منطقه را به سمت راست حرکت داده و دماهای خشکی که طی آن آسایش ایجاد می‌شود را افزایش می‌دهند.

جدول ۲- حرکت هوا و احساس سرمایش

سرعت متوسط هوا در اطراف افراد					
درجات موثر سرمایش حاصل	متر در ثانیه	فوت در دقیقه	مایل در ساعت		
---	0.045	8.8	.1		
2.8C	0.224	44.0	.5	5.0F	
3.9	0.447	88.0	1.0	7.0	
5.4	0.894	176.0	2.0	9.7	
5.7	1.34	264.0	3.0	10.3	
6.3	2.24	440.0	5.0	11.3	
7.0	4.47	880.0	10.0	12.6	

دوم این که، در منطقه مرز سمت راستی، نواحی تعمیم یافته دیگری ظاهر می شوند که معرف احساس آسایش توسط افرادی است که به مدت ۷ تا ۱۰ روز در معرض شرایط عدم آسایش در حد متوسط قرار داشتند. پس از خوگیری اولیه، تنها قرارگیری مجدد برای یک روز در هفته در این شرایط، موجب حفظ منافع می گردد.

به ویژه، گسترش مرز سمت راست موجب تقریب ET^* به میزان 2 deg F ($1/1 \text{ deg C}$) می شود که احتمالاً افزون بر گسترش مبتنی بر سرعت است.

منطقه آسایش سرمایش تبخیری

نمودار آسایش ASHRAE، در سال ۱۹۶۱، برای هوای ساکن بود. از آن سال به بعد در کتاب راهنما و داده های ASHRAE عملاً سرعت های هوای ۱۵ تا 25 fpm ($4/6$ تا $7/6 \text{ m/min}$)، که برای سرمایش مکانیکی مناسب است، تحت پوشش قرار گرفتند. منطقه آسایش مربوط از سمت چپ و راست توسط خطوط دمای موثر احاطه شده و به صورت نظری (تئوری) از منحنی رطوبت نسبی ۱۰٪ در پایین تا خط اشباع ۱۰٪ در بالا گسترش دارد.

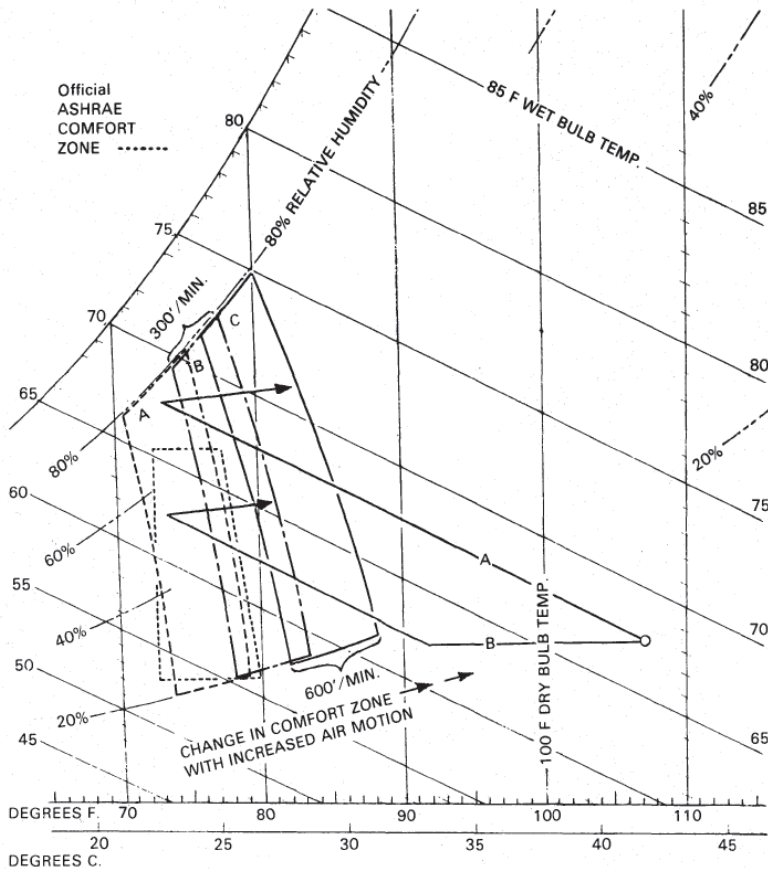
در عمل، این منطقه آسایش تقریباً بین منحنی های رطوبت نسبی ۲۰٪ و ۸۰٪ قرار دارد. هوای با رطوبت نسبی کم تر از ۲۰٪ به صورت قابل ملاحظه ای موجب مشکلات پوستی و تنفسی و ایجاد ترک در مبل و اثاثیه چوبی می شود. در عین حال، زنگ زدگی و کپک زدگی مواد آسیب پذیر اغلب در فضاهای با تهویه هوای ضعیف و در رطوبت نسبی های حول و حوش ۷۰٪ آغاز می شود. در صورت استفاده از مواد معمولی و طی یک تهویه کامل هوا، رطوبت نسبی ۸۰٪ ایمن محسوب می شود.

این حدود کاری که در فصل ۳۹ کتاب راهنمای ASHRAE (۱۹۸۰) در منطقه آسایش درون یک نمودار آسایش، درمورد سرمایش تبخیری مورد قبول قرار گرفتند با افزایش سرعت هوا از روی یک فرد غیر متحرک (نشسته) مفروض تغییر می‌کند. البته در صورت وجود هر گونه تردید، مولف این کتاب رطوبت نسبی ۷۰٪ را به عنوان حد فوقانی پیشنهاد می‌کند.

محور مرکزی این منطقه، نشانگر آسایش برای اغلب افراد است که همان خط دمای موثر 75 F ($23/9$) است. در سرعت‌های نامشخص پایین هوای داخل، مرز سمت راست، خط ET برابر 78 F ($25/6$) را تقریب می‌کند. در سرعت 300 fpm ($1/5\text{ m/s}$)، این مرز به اندازه 4 deg F ($2/2\text{ deg C}$) و در سرعت 600 fpm ($3/05\text{ m/s}$) به اندازه 8 F ($4/4\text{ deg C}$) به راست حرکت می‌کند. در طی سطوح فعالیت بالای انسان، این جابجایی‌ها معادل با نمودار آسایش ASHRAE بر طبق جدول ۲ فصل ۴ خواهد بود (به شکل ۳ این فصل مراجعه کنید).

در اغلب ساختمان‌های امروزی و با اجتناب از تاثیر اندازه ساختمان و عوامل روانشناختی، خطای ناشی از خطوط ET منسوخ شده، به صورت ظاهری با خطای ناشی از برابر فرض کردن MRT با دمای خشک داخلی معادل است.

با گسترش منطقه به سمت راست، مرزهای بالایی و پایینی آن به ترتیب مربوط به رطوبت نسبی‌های ۸۰٪ و ۲۰٪ می‌شود. به دلیل واگرایی آن‌ها، ارتفاع این منطقه به سرعت افزایش می‌یابد. پس هر چه سرعت هوای داخلی بیشتر باشد اطمینان از حصول منطقه آسایش بیشتر است (به شکل ۳ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۳- نمودار آسایش سرمایش تبخیری برای افراد غیر متحرک (نشسته). این یک نمودار رطوبت سنجی ساده شده است که سه منطقه سرمایش تبخیری روی هم را به علاوه منطقه آسایش رسمی ASHRAE لحاظ می‌کند. منطقه سمت چپی A معرف سرعت‌های گردش هوای اتاق کم‌تر از 100 fpm ($30/5 \text{ m/min}$) است. محور مرکزی آن، که طی آن اکثر افراد احساس آسایش می‌کنند، خط دمایی موثر 75 F ($23/9 \text{ C}$) است که نشان داده نشده است. منطقه مرکزی B نشانگر سرعت‌های گردش هوای داخلی 300 fpm ($1/5 \text{ m/s}$) است که در امتداد محور مرکزی ET برابر 79 F ($26/1 \text{ C}$) آسایش بیشتری را می‌دهد. منطقه سمت راستی C برای سرعت 600 fpm ($3/1 \text{ m/s}$) دارای محور مرکزی در حول و حوش ET برابر 83 F ($28/3 \text{ C}$) است. در محورهای مرکزی مربوطه، اکثر افراد احساس آسایش کرده و برخی نیز به مناطق چپ (خنک‌تر) یا راست (گرم‌تر) متمایل هستند. وضعیت‌های عمودی درون مناطق بی‌اهمیت هستند. سرعت‌های هوای بالای اتاق، افزایش میزان فعالیت انسان و افزایش خوگیری ساکنین به شرایط، موجب تشکیل مناطق جدیدی در سمت راست می‌شود که بر اساس deg ET در امتداد رطوبت نسبی 50% (نشان داده نشده) اندازه‌گیری می‌شود که مرزهای بالایی و پایینی آن به ترتیب مربوط به رطوبت نسبی‌های 80% و 20% می‌شود. وجود مرز پایینی 20% به دلیل مشکلات سلامتی و جلوگیری از ترک خوردگی اثاثیه در اثر هوای خشک است. به طور مشابه برای جلوگیری از زنگ‌زدگی و

کپک‌زدگی، مرز بالایی رطوبت نسبی ۸۰٪ است که می‌تواند ۷۰٪ نیز در نظر گرفته شود. بردارهای A و B نشانگر مسیرهای سرمایش تبخیری جایگزین برای ایجاد آسایش هستند. بردار A نشانگر یک فرآیند معمولی مستقیم و با دمای مرطوب ثابت است. بردار B به صورت سرمایش دو مرحله‌ای غیر مستقیم-مستقیم است که در آن مراحل غیر مستقیم و مستقیم به صورت ضعیفی با هم انجام شده تا شرایط آسایش ASHRAE و مناطق A و B حاصل شده در حالی که فرآیند ساده‌تر تنها شرایط آسایش مناطق B و C را حاصل می‌کند. این شکل از روی شکل ۸ فصل ۳۹ کتاب راهنمای سیستم‌های ASHRAE اقتباس شده است.

شرایط توصیه شده تابستانی داخلی

اولویت‌بندی آسایش بر طبق جنسیت، سن، موقعیت جغرافیایی و مدت زمان قرارگیری در معرض تهویه متفاوت است. در مقایسه با مردان، معمولاً زنان ترجیح می‌دهند که دما (۱ deg F) (۰/۶ deg C) گرم‌تر باشد. به ازای هر ۵ درجه عرض جغرافیایی شمالی به سمت جنوب شهر پیتسبورگ، در دمای مربوط به شرایط آسایش چند درجه کاهش ایجاد می‌شود.

البته ساکنین کویر، و مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری معمولاً دماهای نسبتاً بالا را ترجیح داده و ساکنین نقاط کوهستانی نیز دماهای کم‌تر را دوست دارند.

افرادی که به صورت مستمر در معرض یک محیط قرار دارند (نظیر فروشنده‌ها) معمولاً دمای (۱ deg F) (۰/۶ deg C) خنک‌تر از کسانی را ترجیح می‌دهند که برای حداکثر ۳۰ دقیقه در آن محیط قرار می‌گیرند (نظیر مشتریان).

از آن جا که ایجاد شرایط بهینه در طی بالاترین دمای ثبت شده موجب افزایش هزینه می‌شود، اغلب مهندسان و نمایندگان فروش سطوح آسایشی را در نظر می‌گیرند که "از نظر اقتصادی رضایتبخش" بوده و تا حدی گرم‌تر از شرایط ایده‌آل در آن آب و هوا است تا در سایر روزها، تجهیزات نصب شده موجب حصول رضایت شوند (به شکل ۴ این فصل مراجعه کنید).

تنظیمات برای گرمای تابشی

اگر چه اندازه‌گیری آن دشوار است ولی لازم است تا داده‌های آسایش برای شرایط گرمای تابشی تنظیم شوند. شدت گرمای تابشی معمولاً بر حسب درجه دمای تابشی میانگین (MRT) (دمای سطحی متوسط دیوارها، سقف، کف، شیشه، تیغه‌ها و ... احاطه‌کننده بر حسب درجه فارنهایت یا سلسیوس) اندازه‌گیری می‌شود. امروزه اندازه‌گیری مستلزم تجهیزات و نیروی متخصص زیادی است در نتیجه معمولاً این اندازه‌گیری صورت نمی‌گیرد. همچنین، تاثیر آن به صورت موضعی با مربع فاصله از دیوارها، پنجره‌ها، تجهیزات و سقف‌های گرم و حتی فاصله بین اشخاص، به ویژه در کلاس‌ها، تئاتر، سالن

سخنرانی و فروشگاه‌های بزرگ تغییر می‌کند. در صورتی که تجهیزات تابش‌سنج^۱ ارزان قیمت در دسترس قرار بگیرند بیشتر شناخته خواهند شد.

در ET^* ۷۵ به نظر می‌رسد که هر درجه فارنهایت یا سلسیوس افزایش MRT معادل با کمی بیش از یک درجه فارنهایت یا سلسیوس افزایش در درجه خشک ET^* هوا است. در عمل مراجع توصیه می‌کنند که به ازای هر درجه اختلاف MRT با دمای خشک اتاق، دمای هوا نیز به صورت مخالف و به میزان یکسان تغییر کند. البته وقتی گردش هوای اتاق سریع است (همچون سرمایش تبخیری مستقیم)، تنظیمات از سادگی کم‌تری برخوردار است، زیرا به خاطر تلاطم هوا اثر سرمایشی هوا، به ازای هر درجه‌ای که نسبت به هوای اتاق یا MRT خنک‌تر است، بیش از یک درجه است. اگر از فواصل تابش صرف نظر شود، هر درجه می‌تواند چندین درجه MRT را جبران کند.

رطوبت نسبی‌های مجاز

در نظریه‌های اولیه قرار بر این بود که آسایش مستلزم رطوبت نسبی بین ۳۰ و ۷۰ درصد است. البته بررسی میدانی حدود گسترده‌تری را نشان می‌دهد. امروزه اغلب صاحب‌نظران عقیده دارند که، در هنگامی که دما و حرکت هوا با خطوط دمای موثر سازگاری دارند، رطوبت نسبی‌های تا ۱۰۰ درصد مجاز هستند. بنابراین به طور کلی، اغلب رطوبت‌های مربوط به دماها و سرعت‌های هوای مناسب، می‌توانند برای اکثر افراد آسایش ایجاد کنند.

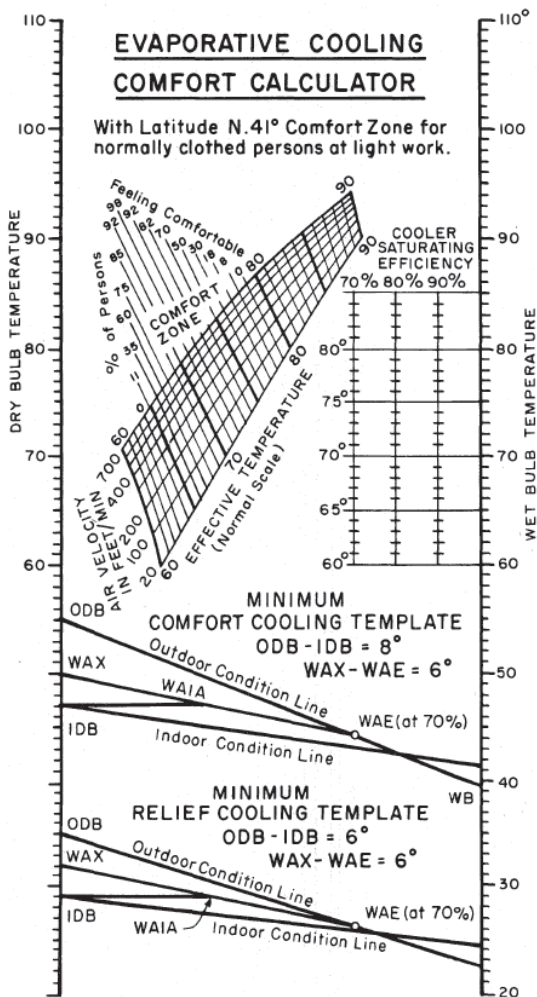
همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، رطوبت‌های بالای ۷۰٪ موجود در فضاهای بسته اغلب موجب کپک‌زدگی و زنگ‌زدگی می‌شود. به طور مشابه، خشکی بیش از حد هوا باعث خشکی بینی، پوسته شدن پوست بدن، ترک خوردگی اثنایه و مبللمان و افزایش امکان ایجاد الکتریسیته ساکن می‌شود. پس، بدون در نظرگیری مفهوم آسایش، در عمل یک محدوده قراردادی ۲۰ تا ۷۰ درصدی در نظر گرفته می‌شود.

حرکت مجاز هوا در سرمایش تبخیری

برای آسایش، هوای سرد تهویه شده باید پیش از لمس پوست بدن، با سرعت مناسب به اتاق وارد شده و کاملاً با هوای اتاق مخلوط شود تا به منظور سرمایش همرفت و تبخیری پوست، در همه جا تلاطم کافی ایجاد کند.

وقتی جریان‌های سرگردان هوا که سردتر از دمای اتاق هستند، با سرعت کافی به پوست لخت بدن رسیده تا اثر سرمایشی خود را تشدید کنند، کوران ایجاد می‌شود. برای جلوگیری از کوران، باید در

فضاهای غیر مسکون، نظیر امتداد دیوارهای خارجی یا زیرسقف، عمل اختلاط صورت گیرد و این عمل قبل از گردش هوا در فضای مسکونی به اتمام برسد (فصل ۱۸).



شکل ۴- نمودار محاسباتی (نوموگراف) جهت محاسبه سریع نتایج سرمایش تبخیری مستقیم. دو الگوی نشان داده شده، روش محاسبه نموداری را برای سرمایش/آسایش بخش^۱ با حفظ دمای خشک داخلی به اندازه ۸ deg F پایین تر از دمای خارجی و برای سرمایش تسکین بخش^۲ به ازای ۶ deg F اختلاف نمایش می‌دهند. در هر دو حالت احساس آسایش شدیداً به سرعت هوا وابسته است.

1- Comfort cooling
2- Relief cooling

روش استفاده از شکل ۴-محاسبه تقریبی سطوح آسایش در سرمایش
تبخیری مستقیم

۱- از روی داده های طراحی تهویه مطبوع موضعی هوا، ODB و WB را انتخاب کنید.
ODB دمای خشک هوای بیرون و WB دمای مرطوب هوای بیرون است.

۲- از ODB تا WB خط شرایط بیرونی (outdoor condition line) را رسم کنید.

۳- ستون بازده اشباع کولر (cooler saturation column) را انتخاب کنید. در محل تقاطع آن با خط شرایط بیرونی، مقدار WAE (دمای هوای شسته شده ورودی اتاق) را بخوانید.

۴- میزان دریافت دمای هوای شسته شده ورودی را انتخاب کنید (معمولاً ۶ تا ۱۰ درجه فارنهایت) و مکان WAX (دمای خروجی هوای شسته شده) را در بالای سمت چپ WAE مشخص کنید و خطی را تا WAE رسم کنید.

۵- مکان WAIA (دمای متوسط هوای شسته شده داخلی) را در حد واسط WAE و WAX تعیین کنید.

۶- از WAIA یک خط افقی به چپ رسم کرده و IDB (دمای خشک متوسط داخلی) را بیابید.

۷- IWB (در شکل نشان داده نشده) را انتخاب کنید (معمولاً ۲ درجه فارنهایت بیش از WB). این همان دمای مرطوب داخلی تخمینی است.

۸- از IDB به IWB خط شرایط داخلی را رسم کنید.

۹- در شبکه بندی در سمت چپ، خط سرعت هوای متوسط داخلی تخمینی را انتخاب کنید (معمولاً بین ۱۰۰ تا ۴۰۰ fpm)

۱۰- در محل تقاطع خط شرایط داخلی (indoor condition line) با خط سرعت هوا (air velocity line)، سطح آسایش داخلی را بر حسب درجه دمای موثر بخوانید. در سمت چپ-بالا درصد افراد آسوده را بخوانید.

در اینجا هدف اولیه هوای خنک کننده مهم است. این هوا باید نخست از روی سقف، دیوارها، پنجره‌ها و کف جریان یابد تا حرارت رسانش یافته از بیرون را جذب کند. بدین ترتیب، سرعت‌های هوای بیرونی باید برحسب نوع و مکان ورودی، اندازه و شکل اتاق، فواصل جریان ذیربط و حجم هوای تحویلی تغییر کند. به منظور ایجاد جریان‌های پرتابی مناسب در عرض اتاق‌های پهن یا به گوشه‌های آن از مجراهای مرتفع، سرعت‌های خروجی می‌تواند بیش از 1000 fpm ($5/1 \text{ m/s}$) باشد.

از آنجا که هوای ورودی متناوباً 20 درجه فارنهایت ($1/1 \text{ deg C}$) پایین‌تر از دمای اتاق است، لازم است تا در تهویه مطبوع برودتی سرعت متوسط پایین بوده تا مانع از کوران شود. معمولاً سرعت‌های 25 تا 35 fpm ($0/13$ تا $0/18 \text{ m/s}$) برای هوای اتاق توصیه می‌شود که احتمالاً به خاطر اقلیم‌هایی است که مردم عادت به استفاده از پنکه برقی برای سرعت بخشیدن به گردش هوا ندارند. البته در جایی که ET^* اتاق از مقدار بهینه برای ساکنین اتاق بالاتر است سرعت‌های بیش از 40 fpm ($4/0 \text{ m/s}$) توصیه می‌شود. یکی از مراجع سرعت 75 fpm ($0/38 \text{ m/s}$) را مجاز دانسته البته به شرطی که هوایی که به افراد برخورد می‌کند در آب و هوای خنک، بیش از 1 deg F ($0/55 \text{ deg C}$) یا در تابستان، بیش از 2 الی 3 deg F ($1/1 \text{ deg C}$) تا $1/7 \text{ deg C}$ از دمای متوسط اتاق کم‌تر نباشد.

هر چه دمای هوای ورودی به شرایط اتاق نزدیک‌تر باشد، سرعت هوای ورودی می‌تواند بیشتر باشد. وقتی اختلاف دماها ناچیز است، مثل حالت گردش هوا توسط پنکه، سرعت‌های تا 880 fpm قابل قبول است. پس از آن جا که در سرمایه‌ش تبخیری معمولاً دمای هوای تهیه شده 3 الی 6 deg F ($1/7 \text{ deg C}$) تا $3/3 \text{ deg C}$ پایین‌تر است، سرعت‌های اتاق مجاز نسبت به سرمایه‌ش برودتی بالاتر است. یکی از مراجع مقدار 110 تا 200 fpm ($0/51$ تا $1/02 \text{ m/s}$) را توصیه کرده‌است. در واقع مقدار 300 fpm ($1/5 \text{ m/s}$) غیرمعمول نیست. از تحقیقات انجام شده در گستره‌ای از سرعت‌های اتاق از 90 تا 220 fpm ($0/46$ تا $1/12 \text{ m/s}$) دریافته شده که هر چه سرعت تولیدی بیشتر باشد آسایش بیشتری ایجاد شده و هیچ زحمتی برای ساکنین ندارد.

هوایی که به طریق تبخیری خنک می‌شود ذاتاً مشکلات کمی از نظر کوران ایجاد می‌کند. حتی وقتی که این هوا با دمای 3 الی 6 deg F ($1/7 \text{ deg C}$) تا $3/3 \text{ deg C}$ خنک‌تر وارد می‌شود، رطوبت آن بالاتر از رطوبت اتاق بوده و در طی یک سرعت برابر به میزان نسبتاً کم‌تری، به صورت تبخیری، پوست را خنک می‌کند. در نتیجه جریان‌های سرگردان آن احساس سرمای کم‌تری ایجاد کرده و ایجاد سرعت‌های بالاتر مجاز است. البته هوا به ندرت می‌تواند با سرعت‌های بالا، در حد خش خش و حرکت برگه‌های کاغذ دفاتر، به افراد برخورد کند. بنابراین سرعت‌های زیر 200 fpm ($1/02 \text{ m/s}$) برای کارکنان غیرمتحرک (نشسته) و سرعت‌های بالاتر برای کارکنان در حال کار یدی و فیزیکی توصیه می‌شود (به "سرمایش نقطه‌ای" در فصل ۱۳ مراجعه کنید).

سرعت‌های مجاز هوای اتاق به خوی و خصلت و فعالیت انسان نیز بستگی دارد. در اقلیم‌های خنک، افراد به گرمایش زمستانی عادت داشته و در سرمایه‌ش تابستانی خود تلاطم هوای کم‌تری را ترجیح داده و عادت به روشن کردن پنکه، باز کردن پنجره اتاق یا نشستن در هوای بیرون دارند. به طور مشابه در کارخانجات، نساجی‌ها، ساختمان‌های عمومی، و فروشگاه‌ها در مقایسه با منازل، آپارتمان‌ها و ادارات سرعت‌های هوای بالاتری مجاز است.

الزامات هوای تازه

نوع بشر برای تامین اکسیژن، رقیق‌سازی دی اکسید کربن ناشی از بازدم و دفع بو و دود به هوای تازه نیاز دارد. اگر چه به دلیل اثرات فضایی، اتاق‌های کوچک نسبت به اتاق‌های بزرگ، به میزان محسوسی به هوای تازه بیشتری برای هر فرد نیاز دارند، بیشتر استانداردهای تهویه مبتنی بر تعداد افراد است و نه اندازه اتاق. البته در برخی ساختمان‌های صنعتی، مثل ریخته‌گری‌ها، جوشکاری‌ها، آهنگری‌ها، کارگاه‌های نقاشی، صنایع شیمیایی، کارخانجات ذوب فلز، آشپزخانه‌های صنعتی که دارای نسبت افراد اندکی بوده یا دارای معضلات ناشی از دود و غبار هستند، تهویه ناشی از تعداد افراد مردود است.

خوشبختانه، تقریباً تمام سیستم‌های سرمایه‌ش تبخیری مستقیم، برای سرمایه‌ش پرسنل دارای جریان تهویه اضافی مناسب هستند (به فصل ۱۳ مراجعه کنید). نیازهای مربوط به کارخانجات نساجی در فصل ۱۹ تشریح می‌شوند. موارد مربوط به مرغداری‌ها، دامداری‌ها و گلخانه‌ها در فصول ۱۵ و ۱۶ بررسی می‌شوند.

تقریباً در تمام موارد، در صورتی که با سرمایه‌ش تبخیری مستقیم بتوان سطوح دماهای کاری را حفظ کرد، می‌توان هوای تهویه کافی نیز تامین نمود. در تاسیسات سرمایه‌ش تبخیری غیرمستقیم (فصول ۲۰ تا ۲۳)، هوای کم‌تری گردش کرده و ممکن است به بازرسی نیاز شود.

تمیزسازی هوا

سیستم‌های سرمایه‌شی که هوای بدون غبار، گرده و پرز را تامین می‌کنند کاملاً موجب تامین آسایش می‌شوند. بنابراین اغلب آن‌ها دارای فیلترهایی هستند که در عین حال موجب حفاظت فن‌ها و سطوح سرمایه‌شی می‌شوند. فیلترسازی موفقیت‌آمیز مستلزم گیر انداختن ذرات هوا برد با قطر حدود یک تا ۲۰۰ میکرون است (هر اینچ ۲۵۴۰۰ میکرون است). یکی از موارد مضر برای آسایش، شاید گرده‌ها، با قطر بین ۱۰ تا ۵۰ میکرون، و غبارهای معدنی بسیار ریز هستند که توسط فیلترهای مرطوب یا چسبناک به صورت بهتری جذب می‌شوند.

اکثر کولرهای تبخیری مستقیم به صورت فعال هوای خنک شده را تمیز می‌کنند. کولرهای آبی (فصول ۶ و ۷) هوا را از بین پدهایی از پوشال مرطوب عبور داده و بیشتر گرد و خاک و گرده را گیر می‌اندازند هر چند که بازده فیلترسازی واقعی آن‌ها نامعلوم است. کولرهای آبی-پرتابی و کولرهای با پد افشانه-ای (فصل ۹) تقریباً تمام ناخالصی‌ها را رفع می‌کنند در حالی که هواسازهای افشانه‌ای و هواسازهای نوع سلولی (فصل ۱۱) هوای با خلوص بسیار بالایی تحویل می‌دهند. در صورت لزوم، همچون کولرهای با پد دوار (فصل ۹) یا سایر تاسیسات خنک‌کننده (فصل ۱۸) یا کولرهای تبخیری غیرمستقیم (فصول ۲۰ تا ۲۳)، می‌توان از فیلترهای هوای اضافی استفاده کرد.

به علاوه کولرهای تبخیری مستقیم به دلیل ایجاد تلاطم در هوای داخل، مانع از نشست گرد و خاک می‌شوند. در نتیجه اغلب غبارهای هواپردی که به اندازه‌ای ریز هستند که وارد کولر می‌شوند، مجدداً توسط هوای خنک‌کن به بیرون روبیده می‌شوند. به طور مشابه، بیشتر گرد و خاکی که در داخل ایجاد می‌شود به صورت خودکار تخلیه می‌شود.

در نهایت باید ذکر شود که این کولرها فشار هوای داخلی را کمی افزایش داده و موجب کاهش نفوذ هوای بیرون به داخل می‌شوند. درز پنجره‌ها، درها، دودکش‌ها و دیگر مجاری دارای نشتی به بیرون (و نه داخل) بوده که به میزان زیادی از ورود موضعی گرد و خاک، دوده و غیره می‌کاهد. جریان رو به خارج هوا موجب ممانعت از ورود حشرات از طریق درها و مجاری دیگر می‌شود.

پرسش های دوره های

۱. آسایش انسان را از دیدگاه صرفاً گرمایی شرح دهید. بدن انرژی غذایی دریافتی را چگونه و کجا مصرف می کند این انرژی چگونه و به کجا تخلیه می شود؟
۲. چرا میزان تلفات حرارتی متابولیک بدن با فعالیت عضلانی تغییر می کند؟ میزان متوسط اتلاف به ترتیب در موارد اشخاص ساکن نشسته، در حال راه رفتن آرام، در حال انجام کار ماشینی سبک، و در حال انجام کار سنگین یا ورزش قهرمانی چیست؟
۳. روش های مختلف اتلاف حرارتی بدن را تعریف کنید. کدام یک توسط دمای هوای ۹۴ F (C) تحت تاثیر قرار می گیرد و چگونه؟ کدام یک توسط فاصله از سطوح اتاق تحت تاثیر قرار می گیرد و چگونه؟ کدام یک توسط رنگ ها تحت تاثیر قرار می گیرد و چگونه؟ چرا دمای عادی $۹۸/۶\text{ F}$ (۳۷ C) بدن، معمولاً در اینجا اهمیتی ندارد؟
۴. آخرین اقدام بدن برای دفع حرارت متابولیک چیست؟ چه چیزی بر آن تاثیر داشته یا آن را کنترل می کند؟ شرح دهید. چه چیزی معمولاً کمترین حرارت متابولیک را دفع می کند؟ چرا؟ چگونه می توان آن را به صورت قابل ملاحظه ای افزایش داد؟ با خوردن غذاهای سرد؟ مایعات خیلی سرد؟ شرح دهید.
۵. بدن چگونه دمای اندام های حیاتی خود را کنترل می کند؟ در موارد سرخ شدگی صورت یا رنگ پریدگی چگونه عمل می کند؟ چگونه قلب در آب و هوای گرم و مرطوب به تقلا می افتد؟ شرح دهید که چگونه طبیعت در محیط هایی که به خوبی گرمای متابولیک را جذب نمی کند، از افراد در برابر کارکرد طولانی مدت با نرخ فعالیت زیاد محافظت می کند. این امر منجر به نجات جان افراد شده ولی چه می تواند بر سر افراد بیاورد؟
۶. در ارتباط با فرآیندهای آسایشی فیزیولوژیک انسان، چرا اندازه و جرم ساختمان تاثیر ویژه ای دارند؟ از چه نظر ترمودینامیکی، رنگ داخل ساختمان بر احساس آسایش تاثیر دارد؟
۷. دماهای موثر چیستند و چه عوامل کلیدی را تحت پوشش قرار می دهند؟ آن ها ضرورتاً از چه عوامل مرتبطی چشم پوشی می کنند؟ چه واکنش ذهنی انسان می تواند مهم تر از احساس مربوط بوده ولی نمی تواند آن را تحت پوشش قرار دهد؟ شرح دهید.
۸. با دمای متوسط سطوح احاطه کننده (MRT) که اندازه گیری آن دشوار است، چه عواملی معمولاً بر تحلیل و معیار رسمی آسایش حاکم می شوند؟ چه فرض ساده ای اجازه می دهد که از MRT صرف نظر نمود؟ چه ویژگی های معماری شامل عایق کاری و تابش خورشیدی موجب بی اعتبار شدن این فرض می شوند؟ چگونه؟ در کدام دو روش می توان این فرض را بی اعتبار دانست؟ شرح دهید.

۹. چه افرادی با نمودارهای آسایش ASHRAE سر و کار دارند؟ در تحت چه شرایط مفروض داخلی؟ چرا سرعت‌های گردش هوای اتاق خیلی پایین فرض شده‌است؟ چه خطوطی معرف احساس آسایش یکسان برای افراد است؟
۱۰. چه خطی معرف آسایش ایده‌آل برای افراد است؟ بر حسب درجه ET^* از سرد به گرم، منطقه آسایش چه پهنایی دارد؟ خطوط ET^* تقریبی که مرزهای سمت سرد و سمت گرم را مشخص می‌کنند چیستند؟
۱۱. به نظر چه تعریفی از خطوط دمای موثر توسط مرزهای افقی بالایی و زیرین آن منطقه نقض می‌شوند؟ شرح دهید. مناطق آسایش پیشین ASHRAE توسط منحنی‌های رطوبت نسبی در بالا و پایین محدود می‌شدند. آیا این منحنی‌ها نسبت به خطوط افقی فعلی (نقطه شبنم ثابت، نسبت رطوبت ثابت) منطقی‌تر هستند یا خیر؟ چه خط افقی به نظر مولف این کتاب برای آن منطقه قابل قبول است؟ بر اساس چه مبنایی؟
۱۲. چگونه سرعت هوای اتاق این منطقه آسایش را حرکت داده یا بزرگ می‌کند؟ آیا نرخ فعالیت فیزیکی افراد بر آن تاثیر دارد؟ چگونه؟ آیا سرمایه‌ش تبخیری موجب صحه‌گذاری یا حتی افزایش آن می‌شود؟ شرح دهید.
۱۳. خوگیری با شرایط آب و هوایی چگونه بر منطقه آسایش تاثیر می‌گذارد؟ حدوداً چقدر؟ آیا این امر با تجربه رایج در مورد ترجیح دماهای متفاوت توسط فروشندگان و مشتریان فروشگاه در تابستان توافق دارد؟ نظر موافق یا مخالف خود را اعلام کرده و توضیح دهید.
۱۴. از مقایسه منطقه آسایش سرمایه‌ش تبخیری با منطقه مربوط به ASHRAE، مرز بالایی آن چیست؟ آیا با احساس آسایش تنظیم شده‌است؟ اگر پاسخ منفی است بگویید که چه شرایط ویژه‌ای می‌تواند موجب کاهش آن شود؟ مرز پایینی آن کجا است؟ آیا با احساس آسایش تنظیم شده‌است؟ اگر پاسخ منفی است مشکلات آن چیست؟ سرعت هوای داخلی چه تاثیری بر این منطقه دارد؟ سطح فعالیت کارکنان چه تاثیری دارد؟
۱۵. بر اساس تجربه، چه اختلاف دمای خشکی در مقایسه بین زن و مرد، پیر و جوان، اهالی شمال و جنوب کشور، ساکنین کوهستان و صحرا وجود دارد؟ کدام یک از این گروه‌ها در سمت چپ منطقه آسایش و کدام یک در سمت راست آن قرار می‌گیرند؟
۱۶. MRT چیست؟ در صورت معلوم بودن، دمای هوای اتاق را باید چگونه تنظیم کرد تا آن را جبران کرد؟ چه عوامل مکانیکی یا ساختمانی موجب اطمینان از عدم افزایش دمای سقف، دیوار و پنجره از دمای هوای اتاق می‌شود؟ چگونه هوای شسته شده ورودی باید در داخل اتاق‌ها مسیردهی شود تا به انجام این امر کمک شود؟

۱۷. کوران چیست؟ چرا در سرعت مساوی، هوای ناشی از سرمایش برودتی موجب کوران بیشتری نسبت به سرمایش تبخیری می‌شود؟ آیا این موضوع می‌تواند سرعت‌های مجاز مختلف در این دو روش را توضیح دهد. برای حداقل‌سازی کوران، هوای خنک باید چگونه وارد اتاق شود؟ شرح دهید.
۱۸. سرمایش برودتی اتاق معمولاً مستلزم اختلاط هوای تازه بیرونی به صورت جبرانی با هوای سرمایش است. چرا میزان این هوا معمولاً به تعداد افراد درون اتاق وابسته است؟ چرا در سرمایش تبخیری به هوای اضافی برای تهویه نیاز نیست؟ چه انواعی از سرمایش تبخیری احتمالاً این گونه هستند؟
۱۹. میکرون چیست؟ چه محدوده اندازه‌ای شامل ذرات هوابرد بیشتری است؟ چرا کولرهای تبخیری مستقیم گرد و خاک و غبار را تقریباً به صورت اتوماتیک به تله می‌اندازند؟ برا ساس نوع کولر شرح دهید. احتمالاً هوای کدام یک تمیزتر است؟
۲۰. کولرهای مستقیم به چه روش دیگری موجب ایجاد اتاق‌ها و فضاهای بدون غبار می‌شوند؟ شرح دهید. آیا در تهویه مطبوع برودتی نیز این گونه است یا خیر؟

فصل ۵

محدوده جغرافیایی برای سرمایه‌ش تبخیری^۱

محدوده جغرافیایی برای سرمایه‌ش تبخیری معمولاً بر اساس توانایی کولر در ایجاد یا تقریب آسایش انسان از یک محل به محل دیگر مبتنی است. این محدوده به صورت نظری در جایی به پایان می‌رسد که رطوبت تابستانی محل مانع از کامیابی آن بشود. اما مسئله فراتر از رطوبت است و تمام عوامل باید در نظر گرفته شوند:

۱. رطوبت موضعی در ساعات داغ که توسط افت دمای مرطوب (اختلاف متوسط بین دماهای خشک و مرطوب بیرون) یا توسط رطوبت نسبی متوسط تعریف می‌شود.
۲. مشخصه‌های خاص ساختمان، شامل جهت خورشید، عایق‌سازی و شدت تابش خورشید، مقدار حرارت تولیدی داخلی و اندازه و جرم تعریف می‌شود (به فصل ۴ مراجعه کنید).
۳. عملکرد/شباع‌کنندگی کولر-هر چه بالاتر بهتر. کمترین آسایش در طی آب و هوای مرطوب توسط کولرهای آبی قابل حمل (پرتابل) و نقطه‌ای (موضعی)^۲ (فصل ۸) و کولرهای غیر مستقیم تک مرحله‌ای (فصول ۲۰ تا ۲۳) ایجاد می‌شود. در بهترین حالت ایجاد آسایش، کولرهای غیر مستقیم دارای مرحله دوم برودتی قرار دارند که به دنبال آن، کولرهای مشابهی قرار دارند که مرحله دوم آن تبخیری مستقیم است (فصول ۲۱ تا ۲۴). بین این دو شرایط کراگین، انواع متنوعی از کولرهای تبخیری مستقیم مثل آبی، آبی-پرتابی، با پد افشانه‌ای،

۱ - مطالب این فصل با کمک‌های ارزشمند Loren W. Crow نگارش شده‌است.

- دوار، با ماده واسط صلب، هواساز، سیستم سرمایش کارخانجات نساجی و غیره وجود دارد(فصول ۶ تا ۱۸).
۴. *خوی‌گیری و تطابق آب و هوایی/انسان*. شرایط آسایش داخلی اندکی نامطلوب، اغلب برای برخی اشخاص قابل تحمل و یا حتی قابل آسایش محسوب می‌شود. از طریق لباس نازک، کاهش فعالیت بدنی(فصل ۴) یا تغییرات فیزیولوژیکی و ذهنی می‌توان به تنظیمات جدیدی دست یافت.
۵. *مدت زمان قرارگیری در معرض شرایط*. اشخاصی که از محیط داغ به محیط خنک‌تر می‌آیند در مقایسه با کسی که مدت زمان طولانی در آن شرایط قرار دارند احساس رضایت بیشتری می‌کنند. در نتیجه فروشندگان در مقایسه با مشتریانی که برای مدت کوتاه‌تری اقامت دارند تمایل به کاهش دمای بیشتری دارند.
۶. *رضایت/انسان از نتایج*. آسایش انسان اغلب بر حسب عوامل سلب آسایش به صورت نسبی است. هر چه این عوامل بدتر باشند تاثیر خنک‌کنندگی بهتر احساس می‌شود. هر گونه خنک‌کنندگی از هیچ بهتر است، در نتیجه کارگران کارخانه در مکان‌های داغ از فوران‌های سرمایش نقطه‌ای لذت می‌برند که بسیار دورتر از منطقه آسایش هستند (فصل ۱۳). در عمل، رضایتمندی از این نوع سرمایش می‌تواند به صورت نسبی در مقایسه با هزینه یک سرمایش بهتر حاصل شود(فصل ۲۴).
۷. *هدف/از سرمایش*. سرمایش تبخیری کمتر مبتنی بر آسایش گرمایی و بیشتر بر اساس تهویه است مثل رختشویخانه‌ها، آشپزخانه‌های بزرگ، بسیاری از کارخانجات نساجی، و تعداد بیشماری از سایر کارخانجات(فصول ۱۰ تا ۱۴ و فصل ۱۸). همچنین به صورت فزاینده‌ای برای خنک کردن دام‌ها، ماکیان، گیاهان و ماشین‌آلات استفاده می‌شود(فصول ۱۵، ۱۶ و ۱۹).
- خلاصه این که عوامل مکانیکی و فیزیولوژیکی فوق بر روی آسایش تاثیر داشته و هر یک یا تمام آن‌ها می‌توانند موجب بهبود یا تاثیر منفی بر روی رطوبت محلی بشوند. البته از آن جا که داده‌های آب و هوایی عینی بوده و از کنترل انسان خارج هستند و به صورت موضعی تفاوت می‌کنند از آن‌ها به عنوان یک پیش‌بینی به منظور ایجاد شرایط آسایش استفاده می‌شود.

دماهای طرح سنتی

در گذشته مهندسان بر طبق دماهای طرح خارجی طراحی می‌کردند که مربوط به تجربیات محلی بود، به طوری که بالاترین رکورد برای دماهای خشک و مرطوب در آن محل منظور می‌شد. اغلب

وقتی چنین انتخابی صورت می‌گرفت، تجهیزات به صورت اسراف‌گرایانه‌ای بزرگتر از اندازه بوده و قادر به ایجاد سرمایش مناسب در شرایط رکورد آب و هوایی بودند که احتمال بروز مجدد آن برای دهه‌ها وجود نداشت.

ASHRAE علاج این کار را در جداول تجربی دید که کاربران آن دماهای طرحی را انتخاب می‌کنند که برابر یا یک، $2/5$ یا 5 درصد بیشتر از دمای متوسط فصلی است. پس در طی ۲۹۲۸ ساعت از ماه‌های ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر تابستان‌های نیمکره شمالی و ۲۹۰۴ ساعت از ماه‌های معادل دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس تابستان‌های نیم کره جنوبی تنها ممکن است $7/5$ یا 35 ساعت از بعدازظهرهای آن فصل، و غالباً آن هم به میزان اندک، به خوبی خنک نشود. اغلب در روزهای آخر هفته ممکن است بسیاری از ساختمان‌ها و برخی از منازل مسکونی خالی از سکنه باشند. طبعاً هر چه تعداد درصد ساعات مجاز احتمالی بدون آسایش بیشتر باشد، تجهیزات مورد نیاز کوچک‌تر و ارزان‌تر بوده و هزینه‌های سربار نیز کمتر است.

هر چند انتخاب اندازه مناسب تجهیزات، به ویژه در زمستان، بر اساس دماهای طرح کاملاً قابل قبول است ولی این دماها برای تشریح وضعیت آب و هوایی محلی ناتوان هستند. در تابستان، فلسفه بدترین حالت نمی‌تواند نشانگر طول فصل، دوره تناوب یا مدت زمان اوقات گرم‌تر یا سردتر از دمای طرح، یا دماهای متوسط روزانه باشد که هر یک تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر کاربرد تجهیزات و هزینه‌های سرمایش دارند.

به علاوه، تقریباً هیچگاه دماهای خشک و مرطوب طرح همزمان رخ نمی‌دهند در نتیجه افت دمای مرطوب محاسبه شده دارای خطاهای متغیر و البته ناشناخته‌ای است. بدین ترتیب بر طبق این منوال، پیش‌بینی آسایش از طریق سرمایش تبخیری همواره تخمینی بوده‌است.

دماهای خشک و مرطوب همزمان

داده‌های کامپیوتری حاضر، امکان فرمول‌بندی بهتری را برای دمای طرح می‌دهند. در حال حاضر تقریباً برای تمامی شهرهای بزرگ و کوچک، و فرودگاه‌ها اطلاعات آب و هوایی ده ساله ثبت شده و می‌توان منحنی دماهای خشک و مرطوب را در محورهای طولی و عرضی رسم کرد.

وقتی دماهای خشک در دسته‌های 5 deg F ($2/8 \text{ deg C}$) دسته‌بندی می‌شوند، می‌توان تعداد ساعت هر دسته را ثبت کرده و ساعاتی که دمای مرطوب مربوط رخ می‌دهد را در مقابل آن رسم نمود. سپس میانه‌های تمامی ساعات دمای مرطوب بر حسب گروه دمای خشک مربوط مشخص شده تا محتمل‌ترین دماهای مرطوب همزمان معلوم شود.

بدین ترتیب، داده‌های آب و هوایی جدول ۱ فصل ۵، که از فصل ۲۴ کتاب راهنمای اصول ASHRAE اقتباس شده از دقت لازم برخوردار است. دماهای خشک طرح یک، ۲/۵ و ۵ درصدی به همراه دماهای مرطوب منطبق مربوط موجب می‌شوند که افت دمای مرطوبی به دست آید که از قبل بیشتر است.

این امر موجب ایجاد سهولت در تعیین اندازه صحیح و پیش‌بینی عملکرد سرمایه‌گذاری تبخیری شده و وقتی دماهای خشک و مرطوب هم‌زمانی که معرف هوای خارجی هستند که به درون کولر وارد می‌شود، آن‌ها در نمودار آسایش، برداری را ایجاد می‌کنند که شرایط آسایش داخلی را تخمین می‌زند.

استفاده از نوسان دمای روزانه

آخرین ستون در جدول ۱ فصل ۵، همچون جداول ۲ و ۵ این فصل در مورد داده‌های آب و هوایی سرمایه‌گذاری تبخیری برای سایر ملل، "اختلاف دمای میانگین روزانه"^۱ است که نشانگر اختلاف متوسط بین دماهای خشک حداکثر و حداقل در مدت زمان ۲۴ ساعت است که معیاری برای اقلیم محلی است. نوسانات بزرگ روزانه، از طریق باز کردن پنجره‌ها یا تهویه اجباری، کمک قابل ملاحظه‌ای به خنک‌سازی ساختمان می‌کنند. بدین ترتیب در پیش از ظهر آن‌ها نیازی به خنک‌سازی مکانیکی ندارند.

در جایی که دماهای خشک و مرطوب شبانگاه تابستان بین ۳۰ deg F تا ۴۰ deg F (۱۶/۷ تا ۲۲/۲ deg C) تنزل می‌کند، انواع نوآورانه سرمایه‌گذاری غیر مستقیم موجب صرفه جویی شده و با استفاده از برج‌های خنک‌کن یا کولرهای مستقیم برای ذخیره سرما در مخازن بزرگ و عایق آب یا بسترهای سنگی در طی شب (احتمالاً با هزینه برق پایین‌تر) می‌تواند موجب سرمایه‌گذاری مفرح در روز بعد شود. برای مثال، چرخه روزانه ۳۲ deg F در شهر دنور (Denver)، به سادگی می‌تواند موجب تولید آب ۵۶ F تا ۶۰ F (۱۳/۳ تا ۱۵/۵ C) برای این سرمایه‌گذاری غیرمستقیم شود (به فصول ۲۲ و ۲۳ مراجعه کنید).

آب در مقایسه با سنگ تقریباً چهار برابر بیشتر سرما را ذخیره کرده و استفاده و خنک‌شوندگی آن ساده‌تر است. امروزه هر دو سیستم به دلیل هزینه اولیه بالای واحدهای ذخیره‌سازی، به جز برای ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی در فصل گرمایش، دچار چالش هستند.

در مورد سایر داده‌های آب و هوایی مربوط به سرمایه‌گذاری تبخیری به فصل ۳۶ از جلد سیستم‌های کتاب راهنمای ASHRAE (۱۹۸۴) مراجعه کنید.

برای مشاهده داده‌های جامع آب و هوایی به فصل ۲۴ از جلد اصول کتاب راهنمای ASHRAE (۱۹۸۵)، در سیستم متریک یا اینچی، مراجعه کنید.

جدول ۵ این فصل حاوی داده‌های مربوط به دو شهری است که آنقدر سرد هستند که تصمیم بر این قرار گرفت که در بالا ذکر نشوند.

جدول ۱-دماهای طرح همزمان سرمایه‌ش تبخیری در ایالات متحده

ایالت یا ایستگاه State and Station	ارتفاع Ft	دمای خشک طرح و دمای مرطوب همزمان میانگین			اختلاف دمای میانگین روزانه
		1%	2.5%	5%	
ALABAMA					
Alexander City	660	96/77	93/76	91/76	21
Anniston AP	599	97/77	94/76	92/76	21
Auburn	730	96/77	93/76	91/76	21
Birmingham AP	610	96/74	94/75	92/74	21
Decatur	580	95/75	93/74	91/74	22
Dothan AP	321	94/76	92/76	91/76	20
Florence AP	528	97/74	94/74	92/74	22
Gadsden	570	96/75	94/75	92/74	22
Huntsville AP	619	95/75	93/74	91/74	23
Mobile AP	211	95/77	93/77	91/76	18
Mobile CO	119	95/77	93/77	91/76	16
Montgomery AP	195	96/76	95/76	93/76	21
Selma-Craig AFB	207	97/78	95/77	93/77	21
Talladega	565	97/77	94/76	92/76	21
Tuscaloosa AP	170r	98/75	96/76	94/76	22
ALASKA					
Anchorage AP	90	71/59	68/58	66/56	15
Barrow (S)	22	57/53	53/50	49/47	12
Fairbanks AP (S)	436	82/62	78/60	75/59	24
Juneau AP	17	74/60	70/58	67/57	15
Kodiak	21	69/58	65/56	62/55	10
Nome AP	13	66/57	62/55	59/54	10
ARIZONA					
Douglas AP	4098	98/63	95/63	93/63	31
Flagstaff AP	6973	84/55	82/55	80/54	31
Fort Huachuca AP	4664	95/62	92/62	90/62	27
Kingman AP	3446	103/65	100/64	97/64	30
Nogales	3800	99/64	96/64	94/64	31
Phoenix AP(S)	1117	109/71	107/71	105/71	27
Prescott AP	5014	96/61	94/60	92/60	30
Tucson AP (S)	2584	104/66	102/66	100/66	26
Winslow AP	4880	97/61	95/60	93/60	32
Yuma AP	199	111/72	109/72	107/71	27
ARKANSAS					
Blytheville AFB	264	96/78	94/77	91/76	21
Camden	116	98/76	96/76	94/76	21
El Dorado AP	252	98/76	96/76	94/76	21
Fayetteville AP	1253	97/72	94/73	92/73	23
Fort Smith AP	449	101/75	98/76	95/76	24
Hot Springs	535	101/77	97/77	94/77	22
Jonesboro	345	96/78	94/77	91/76	21
Little Rock AP (S)	257	99/76	96/77	94/77	22
Pine Bluff AP	204	100/78	97/77	95/78	22
Texarkana AP	361	98/76	96/77	93/76	21
CALIFORNIA					
Bakersfield AP	495	104/70	101/69	98/68	32
Barstow AP	2142	106/68	104/68	102/67	37
Blythe AP	390	112/71	110/71	108/70	28
Burbank AP	699	95/68	91/68	88/67	25
Chico	205	103/69	101/68	98/67	36

جدول ۱ (ادامه)

State and Station	Elevation Ft	Design Dry-Bulb and Mean Coincident Wet-Bulb			Mean Daily Range
		1%	2.5%	5%	
CALIFORNIA (Con't)					
Concord	195	100/69	97/68	94/67	32
Covina	575	98/69	95/68	92/67	31
Crescent City AP	50	68/60	65/59	63/58	18
Downey	116	93/70	89/70	86/69	22
El Cajon	525	83/69	80/69	78/68	30
El Centro AP (S)	-30	112/74	110/74	108/74	34
Escondido	660	89/68	85/68	82/68	30
Eureka/Arcata AP	217	68/60	65/59	63/58	11
Fairfield-Travis AFB	72	99/68	95/67	91/66	34
Fresno AP (S)	326	102/70	100/69	97/68	34
Hamilton AFB	3	89/68	84/66	80/65	28
Laguna Beach	35	83/68	80/68	77/67	18
Livermore	545	100/69	97/68	93/67	24
Lompoc, Vandenburg AFB	552	75/61	70/61	67/60	20
Long Beach AP	34	83/68	80/68	77/67	22
Los Angeles AP (S)	99	83/68	80/68	77/67	15
Los Angeles CO (S)	312	93/70	89/70	86/69	20
Merced-Castle AFB	178	102/70	99/69	96/68	36
Modesto	91	101/69	98/68	95/67	36
Monterey	38	75/63	71/61	68/61	20
Napa	16	100/69	96/68	92/67	30
Needles AP	913	112/71	110/71	108/70	27
Oakland AP	3	85/64	80/63	75/62	19
Oceanside	30	83/68	80/68	77/67	13
Ontario	995	102/70	99/69	96/67	36
Oxnard	43	83/66	80/64	77/63	19
Palmdale AP	2517	103/65	101/65	98/64	35
Palm Springs	411	112/71	110/70	108/70	35
Pasadena	864	98/69	95/68	92/67	29
Petaluma	27	94/68	90/66	87/65	31
Pomona CO	871	102/70	99/69	95/68	36
Redding AP	495	105/68	102/67	100/66	32
Redlands	1318	102/70	99/69	96/68	33
Richmond	55	85/64	80/63	75/62	17
Riverside-March AFB (S)	1511	100/68	98/68	95/67	37
Sacramento AP	17	101/70	98/70	94/69	36
Salinas AP	74	74/61	70/60	67/59	24
San Bernardino, Norton AFB	1125	102/70	99/69	96/68	38
San Diego AP	19	83/69	80/69	78/68	12
San Fernando	977	95/68	91/68	88/67	38
San Francisco AP	8	82/64	77/63	73/62	20
San Francisco CO	52	74/63	71/62	69/61	14
San Jose AP	70r	85/66	81/65	77/64	26
San Luis Obispo	315	92/69	88/70	84/69	26
Santa Ana AP	115r	89/69	85/68	82/68	28
Santa Barbara MAP	10	81/67	77/66	75/65	24
Santa Cruz	125	75/63	71/61	68/61	28
Santa Maria AP (S)	238	81/64	76/63	73/62	23
Santa Monica CO	57	83/68	80/68	77/67	16

جدول (ادامه)

State and Station	Elevation Ft	Design Dry-Bulb and Mean Coincident Wet-Bulb			Mean Daily Range
		1%	2.5%	5%	
CALIFORNIA (Con't)					
Santa Paula	263	90/68	86/67	84/66	36
Santa Rosa	167	99/68	95/67	91/66	34
Stockton AP	28	100/69	97/68	94/67	37
Ukiah	620	99/69	95/68	91/67	40
Visalia	354	102/70	100/69	97/68	38
Yreka	2625	95/65	92/64	89/63	38
Yuba City	70	104/68	101/67	99/66	36
COLORADO					
Alamosa AP	7536	84/57	82/57	80/57	35
Boulder	5385	93/59	91/59	89/59	27
Colorado Springs AP	6173	91/58	88/57	86/57	30
Denver AP	5283	93/59	91/59	89/59	28
Durango	6550	89/59	87/59	85/59	30
Fort Collins	5001	93/59	91/59	89/59	28
Grand Junction AP	4849	96/59	94/59	92/59	29
Greeley	4648	96/60	94/60	92/60	29
La Junta AP	4188	100/68	98/68	95/67	31
Leadville	10177	84/52	81/51	78/50	30
Pueblo AP	4639	97/61	95/61	92/61	31
Sterling	3939	95/62	93/62	90/62	30
Trinidad AP	5746	93/61	91/61	89/61	32
CONNECTICUT					
Bridgeport AP	7	86/73	84/71	81/70	18
Hartford, Brainard Field	15	91/74	88/73	85/72	22
New Haven AP	6	88/75	84/73	82/72	17
New London	60	88/73	85/72	83/71	16
Norwalk	37	86/73	84/71	81/70	19
Norwich	20	89/75	86/73	83/72	18
Waterbury	605	88/73	85/71	82/70	21
Windsor Locks, Bradley Field (S)	169	91/74	88/72	85/71	22
DELAWARE					
Dover AFB	38	92/75	90/75	87/74	18
Wilmington AP	78	92/74	89/74	87/73	20
DISTRICT OF COLUMBIA					
Andrews AFB	279	92/75	90/74	87/73	18
Washington National AP	14	93/75	91/74	89/74	18
FLORIDA					
Bell Glade	16	92/76	91/76	89/76	16
Cape Kennedy AP	16	90/78	88/78	87/78	15
Daytona Beach AP	31	92/78	90/77	88/77	15
Fort Lauderdale	13	92/78	91/78	90/78	15
Fort Myers AP	13	93/78	92/78	91/77	18
Fort Pierce	10	91/78	90/78	89/78	15
Gainesville AP (S)	155	95/77	93/77	92/77	18
Jacksonville AP	24	96/77	94/77	92/76	19
Key West AP	6	90/78	90/78	89/78	9
Lakeland CO (S)	214	93/76	91/76	89/76	17
Miami AP (S)	7	91/77	90/77	89/77	15
Miami Beach CO	9	90/77	89/77	88/77	10
Ocala	86	95/77	93/77	92/76	18
Orlando AP	106r	94/76	93/76	91/76	17

جدول ۱ (ادامه)

State and Station	Elevation Ft	Design Dry-Bulb and Mean Coincident Wet-Bulb			Mean Daily Range
		1%	2.5%	5%	
FLORIDA (Con't)					
Panama City, Tyndall AFB	22	92/78	90/77	89/77	14
Pensacola CO	13	94/77	93/77	91/77	14
St. Augustine	15	92/78	89/78	87/78	16
St. Petersburg	35	92/77	91/77	90/76	16
Sanford	14	94/76	93/76	91/76	17
Sarasota	30	93/77	92/77	90/76	17
Tallahassee AP (S)	58	94/77	92/76	90/76	19
Tampa AP (S)	19	92/77	91/77	90/76	17
West Palm Beach AP	15	92/78	91/78	90/78	16
GEORGIA					
Albany, Turner AFB	224	97/77	95/76	93/76	20
Americus	476	97/77	94/76	92/75	20
Athens	700	94/74	92/74	90/74	21
Atlanta AP (S)	1005	94/74	92/74	90/73	19
Augusta AP	143	97/77	95/76	93/76	19
Brunswick	14	92/78	89/78	87/78	18
Columbus, Lawson AFB	242	95/76	93/76	91/75	21
Dalton	720	94/76	93/76	91/76	22
Dublin	215	96/77	93/76	91/75	20
Gainesville	1254	93/74	91/74	89/73	21
Griffin (S)	980	93/76	90/75	88/74	21
La Grange	715	94/76	91/75	89/74	21
Macon AP	356	96/77	93/76	91/75	22
Marietta, Dobbins AFB	1016	94/74	92/74	90/74	21
Moultrie	340	97/77	95/77	92/76	20
Rome AP	637	94/76	93/76	91/76	23
Savannah-Travis AP	52	96/77	93/77	91/77	20
Valdosta-Moody AF	239	96/77	94/77	92/76	20
Waycross	140	96/77	94/77	91/76	20
HAWAII					
Hilo AP (S)	31	84/73	83/72	82/72	15
Honolulu AP	7	87/73	86/73	85/72	12
Kaneohe Bay MCAS	18	85/75	84/74	83/74	12
Wahiawa	900	86/73	85/72	84/72	14
IDAHO					
Boise AP(S)	2842	96/65	94/64	91/64	31
Burley	4180	99/62	95/61	92/66	35
Coeur d'Alene AP	2973	89/62	86/61	83/60	31
Idaho Falls AP	4730r	89/61	87/61	84/59	38
Lewiston AP	1413	96/65	93/64	90/63	32
Moscow	2660	90/63	87/62	84/61	32
Mountain Home AF	2992	99/64	97/63	94/62	36
Pocatello AP	4444	94/61	91/60	89/59	35
Twin Falls (AP (S)	4148	99/62	95/61	92/60	34
ILLINOIS					
Aurora	744	93/76	91/76	88/75	20
Belleveille, Scott AFB	447	94/76	92/76	89/75	21
Bloomington	775	92/75	90/74	88/73	21
Carbondale	380	95/77	93/77	90/76	21
Champaign/Urbana	743	95/75	92/74	90/73	21

جدول (ادامه)

State and Station	Eleva- tion Ft	Design Dry-Bulb and Mean Coincident Wet-Bulb			Mean Daily Range
		1%	2.5%	5%	
ILLINOIS (Con't)					
Chicago, Midway AP	610	94/74	91/73	88/72	20
Chicago, O'Hare AP	658	91/74	89/74	86/72	20
Chicago CO	594	94/75	91/74	88/73	15
Danville	558	93/75	90/74	88/73	21
Decatur	670	94/75	91/74	88/73	21
Dixon	696	93/75	90/74	88/73	23
Elgin	820	91/75	88/74	86/73	21
Freeport	780	91/74	89/73	87/72	24
Galesburg	771	93/75	91/75	88/74	22
Greenville	563	94/76	92/75	89/74	21
Joliet	588	93/75	90/74	88/73	20
Kankakee	625	93/75	90/74	88/73	21
La Salle/Peru	520	93/75	91/75	88/74	22
Macomb	702	95/76	92/76	89/75	22
Moline AP	582	93/75	91/75	88/74	23
Mt. Vernon	500	95/76	92/75	89/74	21
Peoria AP	652	91/75	89/74	87/73	22
Quincy AP	762	96/76	93/76	90/76	22
Rantoul, Chanute AFB	740	94/75	91/74	89/73	21
Rockford	724	91/74	89/73	87/72	24
Springfield AP	587	94/75	92/74	89/74	21
Waukegan	680	92/76	89/74	87/73	21
INDIANA					
Anderson	847	95/76	92/75	89/74	22
Bedford	670	95/76	92/75	89/74	22
Bloomington	820	95/76	92/75	89/74	22
Columbus, Bakalar AFB	661	95/76	92/75	90/74	22
Crawfordsville	752	94/75	91/74	88/73	22
Evansville AP	381	95/76	93/75	91/75	22
Fort Wayne AP	791	92/73	89/72	87/72	24
Goshen AP	823	91/73	89/73	86/72	23
Hobart	600	91/73	88/73	85/72	21
Huntington	802	92/73	89/72	87/72	23
Indianapolis AP (S)	793	92/74	90/74	87/73	22
Jeffersonville	455	95/74	93/74	90/74	23
Kokomo	790	91/74	90/73	88/73	22
Lafayette	600	94/74	91/73	88/73	22
La Porte	810	93/74	90/74	87/73	22
Marion	791	91/74	90/73	88/73	23
Muncie	955	92/74	90/73	87/73	22
Peru, Bunker Hill AFB	804	90/74	88/73	86/73	22
Richmond AP	1138	92/74	90/74	87/73	22
Shelbyville	765	93/74	91/74	88/73	22
South Bend AP	773	91/73	89/73	86/72	22
Terre Haute AP	601	95/75	92/74	89/73	22
Valparaise	801	93/74	90/74	87/73	22
Vincennes	420	95/75	92/74	90/73	22
IOWA					
Ames (S)	1004	93/75	90/74	87/73	23
Burlington AP	694	94/74	91/75	88/73	22
Cedar Rapids AP	863	91/76	88/75	86/74	23

جدول ۱ (ادامه)

State and Station	Elevation Ft	Design Dry-Bulb and Mean Coincident Wet-Bulb			Mean Daily Range
		1%	2.5%	5%	
IOWA (Con't)					
Clinton	595	92/75	90/75	87/74	23
Council Bluffs	1210	94/76	91/75	88/74	22
Des Moines AP	948r	94/75	91/74	88/73	23
Dubuque	1065	90/74	88/73	86/72	22
Fort Dodge	1111	91/74	88/74	86/72	23
Iowa City	645	92/76	89/76	87/74	22
Keokuk	526	95/75	92/75	89/74	22
Marshalltown	898	92/76	90/75	88/74	23
Mason City AP	1194	90/74	88/74	85/72	24
Newton	946	94/75	91/74	88/73	23
Ottumwa AP	842	94/75	91/74	88/73	22
Sioux City AP	1095	95/74	92/74	89/73	24
Waterloo	868	91/76	89/75	86/74	23
KANSAS					
Atchison	945	96/77	93/76	91/76	23
Chanute AP	977	100/74	97/74	94/74	23
Dodge City AP (S)	2594	100/69	97/69	95/69	25
El Dorado	1282	101/72	98/73	96/73	24
Emporia	1209	100/74	97/74	94/73	25
Garden City AP	2882	99/69	96/69	94/69	28
Goodland AP	3645	99/66	96/65	93/66	31
Great Bend	1940	101/73	98/73	95/73	28
Hutchinson AP	1524	102/72	99/72	97/72	28
Liberal	2838	99/68	96/68	94/68	28
Manhattan, Fort Riley (S)	1076	99/75	95/75	92/74	24
Parsons	908	100/74	97/74	94/74	23
Russell AP	1864	101/73	98/73	95/73	29
Salina	1271	103/74	100/74	97/73	26
Topeka AP	877	99/75	96/75	93/74	24
Wichita AP	1321	101/72	98/73	96/73	23
KENTUCKY					
Ashland	551	94/76	91/74	89/73	22
Bowling Green AP	535	94/77	92/75	89/74	21
Corbin AP	1175	94/73	92/73	89/72	23
Covington AP	869	92/73	90/72	88/72	22
Hopkinsville, Campbell AFB	540	94/77	92/75	89/74	21
Lexington AP (S)	979	93/73	91/73	88/72	22
Louisville AP	474	95/74	93/74	90/74	23
Madisonville	439	96/76	93/75	90/75	22
Owensboro	420	97/76	94/75	91/75	23
Paducah AP	398	98/76	95/75	92/75	20
LOUISIANA					
Alexandria AP	92	95/77	94/77	92/77	20
Baton Rouge AP	64	95/77	93/77	92/77	19
Bogalusa	103	95/77	93/77	92/77	19
Houma	13	95/78	93/78	92/77	15
Lafayette AP	38	95/78	94/78	92/78	18
Lake Charles AP (S)	14	95/77	93/77	92/77	17
Minden	250	99/77	96/76	94/76	20

جدول ۱ (ادامه)

State and Station	Elevation Ft	Design Dry-Bulb and Mean Coincident Wet-Bulb			Mean Daily Range
		1%	2.5%	5%	
LOUISIANA (Con't)					
Monroe AP	78	99/77	96/76	94/76	20
Natchitoches	120	97/77	95/77	93/77	20
New Orleans AP	3	93/78	92/78	90/77	16
Shreveport AP(S)	252	99/77	96/76	94/76	20
MAINE					
Augusta AP	350	88/73	85/70	82/68	22
Bangor, Dow AFB	162	86/70	83/68	80/67	22
Caribou AP (S)	624	84/69	81/67	78/66	21
Lewiston	182	88/73	85/70	82/68	22
Millinocket AP	405	87/69	83/68	80/66	22
Portland (S)	61	87/72	84/71	81/69	22
Waterville	89	87/72	84/69	81/68	22
MARYLAND					
Baltimore AP	146	94/75	91/75	89/74	21
Baltimore CO	14	92/77	89/76	87/75	17
Cumberland	945	92/75	89/74	87/74	22
Frederick AP	294	94/76	91/75	88/74	22
Hagerstown	660	94/75	91/74	89/74	22
Salisbury (S)	52	93/75	91/75	88/74	18
MASSACHUSETTS					
Boston AP (S)	15	91/73	88/71	85/70	16
Clinton	398	90/72	87/71	84/69	17
Fall River	190	87/72	84/71	81/69	18
Framingham	170	89/72	86/71	83/69	17
Gloucester	10	89/73	86/71	83/70	15
Greenfield	205	88/72	85/71	82/69	23
Lawrence	57	90/73	87/72	84/70	22
Lowell	90	91/73	88/72	85/70	21
New Bedford	70	85/72	82/71	80/69	19
Pittsfield AP	1170	87/71	84/70	81/68	23
Springfield, Westover AFB	247	90/72	87/71	84/69	19
Taunton	20	89/73	86/72	83/70	18
Worcester AP	986	87/71	84/70	81/68	18
MICHIGAN					
Adrian	754	91/73	88/72	85/71	23
Alpena AP	689	89/70	85/70	83/69	27
Battle Creek AP	939	92/74	88/72	85/70	23
Benton Harbor AP	649	91/72	88/72	85/70	20
Detroit	633	91/73	88/72	86/71	20
Escanaba	594	87/70	83/69	80/68	17
Flint AP	766	90/73	87/72	85/71	25
Grand Rapids AP	681	91/72	88/72	85/70	24
Holland	612	88/72	86/71	83/70	22
Jackson AP	1003	92/74	88/72	85/70	23
Kalamazoo	930	92/74	88/72	85/70	23
Lansing AP	852	90/73	87/72	84/70	24
Marquette CO	677	84/70	81/69	77/66	18
Mt. Pleasant	796	91/73	87/72	84/71	24
Muskegon AP	627	86/72	84/70	82/70	21
Pontiac	974	90/73	87/72	85/71	21
Port Huron	586	90/73	87/72	83/71	21

جدول (ادامه)

State and Station	Elevation Ft	Design Dry-Bulb and Mean Coincident Wet-Bulb			Mean Daily Range
		1%	2.5%	5%	
MICHIGAN (Con't)					
Saginaw AP	662	91/73	87/72	84/71	23
Sault Ste. Marie AP (S)	721	84/70	81/69	77/66	23
Traverse City AP	618	89/72	86/71	83/69	22
Ypsilanti	777	92/72	89/71	86/70	22
MINNESOTA					
Albert Lea	1235	90/74	87/72	84/71	24
Alexandria AP	1421	91/72	88/72	85/70	24
Bemidji AP	1392	88/69	85/69	81/67	24
Brainerd	1214	90/73	87/71	84/69	24
Duluth AP	1426	85/70	82/68	79/66	22
Fairbault	1190	91/74	88/72	85/71	24
Fergus Falls	1210	91/72	88/72	85/70	24
International Falls AP	1179	85/68	83/68	80/66	26
Mankato	785	91/72	88/72	85/70	24
Minneapolis/St Paul AP	822	92/75	89/73	86/71	22
Rochester AP	1297	90/74	87/72	84/71	24
St Cloud AP (S)	1034	91/74	88/72	85/70	24
Virginia	1435	85/69	83/68	80/66	23
Willmar	1133	91/74	88/72	85/71	24
Winona	652	91/75	88/73	85/72	24
MISSISSIPPI					
Biloxi, Keesler AFB	25	94/79	92/79	90/78	16
Clarksdale	178	96/77	94/77	92/76	21
Columbus AFB	224	95/77	93/77	91/76	22
Greenville AFB	139	95/77	93/77	91/76	21
Greenwood	128	95/77	93/77	91/76	21
Hattiesburg	200	96/78	94/77	92/77	21
Jackson AP	330	97/76	95/76	93/76	21
Laurel	264	96/78	94/77	92/77	21
McComb AP	458	96/77	94/76	92/76	18
Meridian AP	294	97/77	95/76	93/76	22
Natchez	168	96/78	94/78	92/77	21
Tupelo	289	96/77	94/77	92/76	22
Vicksburg CO	234	97/78	95/78	93/77	21
MISSOURI					
Cape Girardeau	330	98/76	95/75	92/75	21
Columbia AP (S)	778	97/74	94/74	91/73	22
Farmington AP	928	96/76	93/75	90/74	22
Hannibal	489	96/76	93/76	90/76	22
Jefferson City	640	98/75	95/74	92/74	23
Joplin AP	982	100/73	97/73	94/73	24
Kansas City AP	742	99/75	96/74	93/74	20
Kirksville AP	966	96/74	93/74	90/73	24
Mexico	775	97/74	94/74	91/73	22
Moberly	850	97/74	94/74	91/73	23
Poplar Bluff	322	98/78	95/76	92/76	22
Rolla	1202	94/77	91/75	89/74	22
St Joseph AP	809	96/77	93/76	91/76	23
St Louis AP	535	97/75	94/75	91/74	21
St Louis CO	465	98/75	94/75	91/74	18
Sedalia, Whiteman AFB	838	95/76	92/76	90/75	22

جدول ۱ (ادامه)

State and Station	Elevation Ft	Design Dry-Bulb and Mean Coincident Wet-Bulb			Mean Daily Range
		1%	2.5%	5%	
MISSOURI (Con't)					
Sikeston	318	98/77	95/76	92/75	21
Springfield AP	1265	96/73	93/74	91/74	23
MONTANA					
Billings AP	3567	94/64	91/64	88/63	31
Bozeman	4856	90/61	87/60	84/59	32
Butte AP	5526r	86/58	83/56	80/56	35
Cut Bank AP	3838r	88/61	85/61	82/60	35
Glasgow AP (S)	2277	92/64	89/63	85/62	29
Glendive	2076	95/66	92/64	89/62	29
Great Falls AP (S)	3664r	91/60	88/60	85/59	28
Havre	2488	94/65	90/64	87/63	33
Helena AP	3893	91/60	88/60	85/59	32
Kalispell AP	2965	91/62	87/61	84/60	34
Lewiston AP	4132	90/62	87/61	83/60	30
Livingston AP	4653	90/61	87/60	84/59	32
Miles City AP	2629	98/66	95/66	92/65	30
Missoula AP	3200	92/62	88/61	85/60	36
NEBRASKA					
Beatrice	1235	99/75	95/74	92/74	24
Chadron AP	3300	97/66	94/65	91/65	30
Columbus	1442	98/74	95/73	92/73	25
Fremont	1203	98/75	95/74	92/74	22
Grand Island AP	1841	97/72	94/71	91/71	28
Hastings	1932	97/72	94/71	91/71	27
Kearney	2146	96/71	93/70	90/70	28
Lincoln CO (S)	1150	99/75	95/74	92/74	24
McCook	2565	98/69	95/69	91/69	28
Norfolk	1532	97/74	93/74	90/73	30
North Platte AP (S)	2779	97/69	94/69	90/69	28
Omaha AP	978	94/76	91/75	88/74	22
Scottsbluff AP	3950	95/65	92/65	90/64	31
Sidney AP	4292	95/65	92/65	90/64	31
NEVADA					
Carson City	4675	94/60	91/59	89/58	42
Elko AP	5075	94/59	92/59	90/58	42
Ely AP (S)	6257	89/57	87/56	85/55	39
Las Vegas AP (S)	2162	108/66	106/65	104/65	30
Lovelock AP	3900	98/63	96/63	93/62	42
Reno AP (S)	4404	95/61	92/60	90/59	45
Reno CO	4490	96/61	93/60	91/59	45
Tonopah AP	5426	94/60	92/59	90/58	40
Winnemucca AP	4299	96/60	94/60	92/60	42
NEW HAMPSHIRE					
Berlin	1110	87/71	84/69	81/68	22
Claremont	420	89/72	86/70	83/69	24
Concord AP	339	90/72	87/70	84/69	26
Keene	490	90/72	87/70	83/69	24
Laconia	505	89/72	86/70	83/69	25
Manchester, Grenier AFB	253	91/72	88/71	85/70	24
Portsmouth, Pease AFB	127	89/73	85/71	83/70	22

جدول ۱ (ادامه)

State and Station	Elevation Ft	Design Dry-Bulb and Mean Coincident Wet-Bulb			Mean Daily Range
		1%	2.5%	5%	
NEW JERSEY					
Atlantic City CO	11	92/74	89/74	86/72	18
Long Branch	20	93/74	90/73	87/72	18
Newark AP	11	94/74	91/73	88/72	20
New Brunswick	86	92/74	89/73	86/72	19
Paterson	100	94/74	91/73	88/72	21
Phillipsburg	180	92/73	89/72	86/71	21
Trenton CO	144	91/75	88/74	85/73	19
Vineland	95	91/75	89/74	86/73	19
NEW MEXICO					
Alamagordo, Holloman AFB	4070	98/64	96/64	94/64	30
Albuquerque AP (S)	5310	96/61	94/61	92/61	27
Artesia	3375	103/67	100/67	97/67	30
Carlsbad AP	3234	103/67	100/67	97/67	28
Clovis AP	4279	95/65	93/65	91/65	28
Farmington AP	5495	95/63	93/62	91/61	30
Gallup	6465	90/59	89/58	86/58	32
Grants	6520	89/59	88/58	85/57	32
Hobbs AP	3664	101/66	99/66	97/66	29
Las Cruces	3900	99/64	96/64	94/64	30
Los Alamos	7410	89/60	87/60	85/60	32
Raton AP	6379	91/60	89/60	87/60	34
Roswell, Walker AFB	3643	100/66	98/66	96/66	33
Sante Fe CO	7045	90/61	88/61	86/61	28
Silver City AP	5373	95/61	94/60	91/60	30
Socorro AP	4617	97/62	95/62	93/62	30
Tucumcari AP	4053	99/66	97/66	95/65	28
NEW YORK					
Albany AP (S)	277	91/73	88/72	85/70	23
Albany CO	19	91/73	88/72	85/70	20
Auburn	715	90/73	87/71	84/70	22
Batavia	900	90/72	87/71	84/70	22
Binghamton AP	1590	86/71	83/69	81/68	20
Buffalo AP	705r	88/71	85/70	83/69	21
Cortland	1129	88/71	85/71	82/70	23
Dunkirk	590	88/73	85/72	83/71	18
Elmira AP	860	89/71	86/71	83/70	24
Geneva (S)	590	90/73	87/71	84/70	22
Glen Falls	321	88/72	85/71	82/69	23
Gloversville	790	89/72	86/71	83/69	23
Hornell	1325	88/71	85/70	82/69	24
Ithaca (S)	950	88/71	85/71	82/70	24
Jamestown	1390	88/70	86/70	83/69	20
Kingston	279	91/73	88/72	85/70	22
Lockport	520	89/74	86/72	84/71	21
Massena AP	202	86/70	83/69	80/68	20
Newburg-Stewart AFB	460	90/73	88/72	85/70	21
NYC-Central Park (S)	132	92/74	89/73	87/72	17
NYC-Kennedy AP	16	90/73	87/72	84/71	16
NYC-La Guardia AP	19	92/74	89/73	87/72	16

جدول (ادامه)

State and Station	Elevation Ft	Design Dry-Bulb and Mean Coincident Wet-Bulb			Mean Daily Range
		1%	2.5%	5%	
NEW YORK (Con't)					
Niagra Falls AP	596	89/74	86/72	84/71	20
Olean	1420	87/71	84/71	81/70	23
Oneonta	1150	86/71	83/69	80/68	24
Oswego CO	300	86/73	83/71	80/70	20
Plattsburg AFB	165	86/70	83/69	80/68	22
Poughkeepsie	103	92/74	89/74	86/72	21
Rochester AP	543	91/73	88/71	85/70	22
Rome-Griffiss AFB	515	88/71	85/70	83/69	22
Schenectady (S)	217	90/73	87/72	84/70	22
Suffolk County AFB	57	86/72	83/71	80/70	16
Syracuse AP	424	90/73	87/71	84/70	20
Utica	714	88/73	85/71	82/70	22
Watertown	497	86/73	83/71	81/70	20
NORTH CAROLINA					
Asheville AP	2170r	89/73	87/72	85/71	21
Charlotte AP	735	95/74	93/74	91/74	20
Durham	406	94/75	92/75	90/75	20
Elizabeth City AP	10	93/78	91/77	89/76	18
Fayetteville, Pope AFB	95	95/76	92/76	90/75	20
Goldsboro, Seymour-Johnson AFB	88	94/77	91/76	89/75	18
Greensboro AP (S)	887	93/74	91/73	89/73	21
Greenville	25	93/77	91/76	89/75	19
Henderson	510	95/77	92/76	90/76	20
Hickory	1165	92/73	90/72	88/72	21
Jacksonville	24	92/78	90/78	88/77	18
Lumberton	132	95/76	92/76	90/75	20
New Bern AP	17	92/78	90/78	88/77	18
Raleigh/Durham AP (S)	433	94/75	92/75	90/75	20
Rocky Mount	81	94/77	91/76	89/75	19
Wilmington AP	30	93/79	91/78	89/77	18
Winston-Salem AP	967	94/74	91/73	89/73	20
NORTH DAKOTA					
Bismark AP (S)	1647	95/68	91/68	88/67	27
Devil's Lake	1471	91/69	88/68	85/66	25
Dickinson AP	2595	94/68	90/66	87/65	25
Fargo AP	900	92/73	89/71	85/69	25
Grands Forks AP	832	91/70	87/70	84/68	25
Jamestown AP	1492	94/70	90/69	87/68	26
Minot AP	1713	92/68	89/67	86/65	25
Williston	1877	91/68	88/67	85/65	25
OHIO					
Akron-Canton AP	1210	89/72	86/71	84/70	21
Ashtabula	690	88/73	85/72	83/71	18
Athens	700	95/75	92/74	90/73	22
Bowling Green	675	92/73	89/73	86/71	23
Cambridge	800	93/75	90/74	87/73	23
Chillicothe	638	95/75	92/74	90/73	22
Cincinnati CO	761	92/73	90/72	88/72	21
Cleveland AP (S)	777r	91/73	88/72	86/71	22
Columbus AP (S)	812	92/73	90/73	87/72	24

جدول ۱ (ادامه)

State and Station	Elevation Ft	Design Dry-Bulb and Mean Coincident Wet-Bulb			Mean Daily Range
		1%	2.5%	5%	
OHIO (Con't)					
Dayton AP	997	91/73	89/72	86/71	20
Defiance	700	94/74	91/73	88/72	24
Findlay AP	797	92/74	90/73	87/72	24
Fremont	600	90/73	88/73	85/71	24
Hamilton	650	92/73	90/72	87/71	22
Lancaster	920	93/74	91/73	88/72	23
Lima	860	94/74	91/73	88/72	24
Mansfield AP	1297	90/73	87/72	85/72	22
Marion	920	93/74	91/73	88/72	23
Middletown	635	92/73	90/72	87/71	22
Newark	825	94/73	92/73	89/72	23
Norwalk	720	90/73	88/73	85/71	22
Portsmouth	530	95/76	92/74	89/73	22
Sandusky CO	606	93/73	91/72	88/71	21
Springfield	1020	91/74	89/73	87/72	21
Steubenville	992	89/72	86/71	84/70	22
Toledo AP	676r	90/73	88/73	85/71	25
Warren	900	89/71	87/71	85/70	23
Wooster	1030	89/72	86/71	84/70	22
Youngstown AP	1178	88/71	86/71	84/70	23
Zanesville AP	881	93/75	90/74	87/73	23
OKLAHOMA					
Ada	1015	100/74	97/74	95/74	23
Altus AFB	1390	102/73	100/73	98/73	25
Ardmore	880	100/74	98/74	95/74	23
Bartlesville	715	101/73	98/74	95/74	23
Chickasha	1085	101/74	98/74	95/74	24
Enid-Vance AFB	1287	103/74	100/74	97/74	24
Lawton AP	1108	101/74	99/74	96/74	24
Mc Alester	760	99/74	96/74	93/74	23
Muskogee AP	610	101/74	98/75	95/75	23
Norman	1109	99/74	96/74	94/74	24
Oklahoma City AP	1280	100/74	97/74	95/73	23
Ponca City	996	100/74	97/74	94/74	24
Seminole	865	99/74	96/74	94/73	23
Stillwater (S)	884	100/74	96/74	93/74	24
Tulsa AP	650	101/74	98/75	95/75	22
Woodward	1900	100/73	97/73	94/73	26
OREGON					
Albany	224	92/67	89/66	86/65	31
Astoria AP (S)	8	75/65	71/62	68/61	16
Baker AP	3368	92/63	89/61	86/60	30
Bend	3599	90/62	87/60	84/59	33
Corvallis (S)	221	92/67	89/66	86/65	31
Eugene AP	364	92/67	89/66	86/65	31
Grants Pass	925	99/69	96/68	93/67	33
Klamath Falls AP	4091	90/61	87/60	84/59	36
Medford AP (S)	1298	98/68	94/67	91/66	35
Pendleton AP	1492	97/65	93/64	90/62	29

جدول (ادامه)

State and Station	Eleva- tion Ft	Design Dry-Bulb and Mean Coincident Wet-Bulb			Mean Daily Range
		1%	2.5%	5%	
OREGON (Con't)					
Portland AP	21	89/68	85/67	81/65	23
Portland CO	57	90/68	86/67	82/65	21
Roseburg AP	505	93/67	90/66	87/65	30
Salem AP	195	92/68	88/66	84/65	31
The Dalles	102	93/69	89/68	85/66	28
PENNSYLVANIA					
Allentown AP	376	92/73	88/72	86/72	22
Altoona CO	1468	90/72	87/71	84/70	23
Butler	1100	90/73	87/72	85/71	22
Chambersburg	640	93/75	90/74	87/73	23
Erie AP	732	88/73	85/72	83/71	18
Harrisburg AP	335	94/75	91/74	88/73	21
Johnstown	1214	86/70	83/70	80/68	23
Lancaster	255	93/75	90/74	87/73	22
Meadville	1065	88/71	85/70	83/69	21
New Castle	825	91/73	88/72	86/71	23
Philadelphia	7	93/75	90/74	87/72	21
Pittsburgh AP	1137	89/72	86/71	84/70	22
Pittsburgh CO	749r	91/72	88/71	86/70	19
Reading CO	226	92/73	89/72	86/72	19
Scranton/Wilkes-Barre	940	90/72	87/71	84/70	19
State College (S)	1175	90/72	87/71	84/70	23
Sunbury	480	92/73	89/72	86/70	22
Uniontown	1040	91/74	88/73	85/72	22
Warren	1280	89/71	86/71	83/70	24
West Chester	440	92/75	89/74	86/72	20
Williamsport AP	527	92/73	89/72	86/70	23
York	390	94/75	91/74	88/73	22
RHODE ISLAND					
Newport (S)	20	88/73	85/72	82/70	16
Providence AP	55	89/73	86/72	83/70	19
SOUTH CAROLINA					
Anderson	764	94/74	92/74	90/74	21
Charleston AFB (S)	41	93/78	91/78	89/77	18
Charleston CO	9	94/78	92/78	90/77	13
Columbia AP	217	97/76	95/75	93/75	22
Florence AP	146	94/77	92/77	90/76	21
Georgetown	14	92/79	90/78	88/77	18
Greenville AP	957	93/74	91/74	89/74	21
Greenwood	671	95/75	93/74	91/74	21
Orangeburg	244	97/76	95/75	93/75	20
Rock Hill	470	96/75	94/74	92/74	20
Spartanburg AP	816	93/74	91/74	89/74	20
Sumter-Shaw AFB	291	95/77	92/76	90/75	21
SOUTH DAKOTA					
Aberdeen AP	1296	94/73	91/72	88/70	27
Brookings	1642	95/73	92/72	89/71	25
Huron AP	1282	96/73	93/72	90/71	28
Mitchel	1346	96/72	93/71	90/70	28
Pierre AP	1718r	99/71	95/71	92/69	29

جدول ۱ (ادامه)

State and Station	Elevation Ft	Design Dry-Bulb and Mean Coincident Wet-Bulb			Mean Daily Range
		1%	2.5%	5%	
SOUTH DAKOTA (Con't)					
Rapid City AP (S)	3165	95/66	92/65	89/65	28
Sioux Falls AP	1420	94/73	91/72	88/71	24
Watertown AP	1746	94/73	91/72	88/71	26
Yankton	1280	94/73	91/72	88/71	25
TENNESSEE					
Athens	940	95/74	92/73	90/73	22
Bristol-Tri City AP	1519	91/72	89/72	87/71	22
Chattanooga AP	670	96/75	93/74	91/74	22
Clarksville	470	95/76	93/74	90/74	21
Columbia	690	97/75	94/74	91/74	21
Dyersburg	334	96/78	94/77	91/76	21
Greenville	1320	92/73	90/72	88/72	22
Jackson AP	413	98/76	95/75	92/75	21
Knoxville AP	980	94/74	92/73	90/73	21
Memphis AP	263	98/77	95/76	93/76	21
Murfreesboro	608	97/75	94/74	91/74	22
Nashville AP (S)	577	97/75	94/74	91/74	21
Tullahoma	1075	96/74	93/73	91/73	22
TEXAS					
Abilene AP	1759	101/71	99/71	97/71	22
Alice AP	180	100/78	98/77	95/77	20
Amarillo AP	3607	98/67	95/67	93/67	26
Austin AP	597	100/74	98/74	97/74	22
Bay City	52	96/77	94/77	92/77	16
Beaumont	18	95/79	93/78	91/78	19
Beeville	225	99/78	97/77	95/77	18
Big Springs AP (S)	2537	100/69	97/69	95/69	26
Brownsville AP (S)	16	94/77	93/77	92/77	18
Brownwood	1435	101/73	99/73	96/73	22
Bryan AP	275	98/76	96/76	94/76	20
Corpus Christi AP	43	95/78	94/78	92/78	19
Corsicana	425	100/75	98/75	96/75	21
Dallas AP	481	102/75	100/75	97/75	20
Del Rio, Laughlin AFB	1072	100/73	98/73	97/73	24
Denton	655	101/74	99/74	97/74	22
Eagle Pass	743	101/73	99/73	98/73	24
El Paso AP (S)	3918	100/64	98/64	96/64	27
Fort Worth AP (S)	544r	101/74	99/74	97/74	22
Galveston AP	5	90/79	89/79	88/78	10
Greenville	575	101/74	99/74	97/74	21
Harlingen	37	96/77	94/77	93/77	19
Houston AP	50	96/77	94/77	92/77	18
Houston CO	158r	97/77	95/77	93/77	18
Huntsville	494	100/75	98/75	96/75	20
Killeen-Gray AFB	1021	99/73	97/73	95/73	22
Lamesa	2965	99/69	96/69	94/69	26
Laredo AFB	503	102/73	101/73	99/74	23

جدول ۱ (ادامه)

State and Station	Elevation Ft	Design Dry-Bulb and Mean Coincident Wet-Bulb			Mean Daily Range
		1%	2.5%	5%	
TEXAS (Con't)					
Longview	345	99/76	97/76	95/76	20
Lubbock AP	3243	98/69	96/69	94/69	26
Lufkin AP	286	99/76	97/76	94/76	20
Mc Allen	122	97/77	95/77	94/77	21
Midland AP (S)	2815r	100/69	98/69	96/69	26
Mineral Wells AP	934	101/74	99/74	97/74	22
Palestine CO	580	100/76	98/76	96/76	20
Pampa	3230	99/67	96/67	94/67	26
Pecos	2580	100/69	98/69	96/69	27
Plainview	3400	98/68	96/68	94/68	26
Port Arthur AP	16	95/79	93/78	91/78	19
San Angelo, Goodfellow AFB	1878	101/71	99/71	97/70	24
San Antonio AP (S)	792	99/72	97/73	96/73	19
Sherman Perrin AFB	763	100/75	98/75	95/74	22
Snyder	2325	100/70	98/70	96/70	26
Temple	675	100/74	99/74	97/74	22
Tyler AP	527	99/76	97/76	95/76	21
Vernon	1225	102/73	100/73	97/73	24
Victoria AP	104	98/78	96/77	94/77	18
Waco AP	500	101/75	99/75	97/75	22
Wichita Falls AP	994	103/73	101/73	98/73	24
UTAH					
Cedar City AP	5613	93/60	91/60	89/59	32
Logan	4775	93/62	91/61	88/60	33
Moab	3965	100/60	98/60	96/60	30
Ogden AP	4455	93/63	91/61	88/61	33
Price	5580	93/60	91/60	89/59	33
Provo	4470	98/62	96/62	94/61	32
Richfield	5300	93/60	91/60	89/59	34
St George CO	2899	103/65	101/65	99/64	33
Salt Lake City AP (S)	4220	97/62	95/62	92/61	32
Vernal AP	5280	91/61	89/60	86/59	32
VERMONT					
Barre	1120	84/71	81/69	78/68	23
Burlington AP (S)	331	88/72	85/70	82/69	23
Rutland	620	87/72	84/70	81/69	23
VIRGINIA					
Charlottesville	870	94/74	91/74	88/73	23
Danville AP	590	94/74	92/73	90/73	21
Fredericksburg	50	96/76	93/75	90/74	21
Harrisonburg	1340	93/72	91/72	88/71	23
Lynchburg AP	947	93/74	90/74	88/73	21
Norfolk AP	26	93/77	91/76	89/76	18
Petersburg	194	95/76	92/76	90/75	20
Richmond AP	162	95/76	92/76	90/75	21
Roanoke AP	1174r	93/72	91/72	88/71	23
Staunton	1480	93/72	91/72	88/71	23
Winchester	750	93/75	90/74	88/74	21

جدول ۱ (ادامه)

State and Station	Elevation Ft	Design Dry-Bulb and Mean Coincident Wet-Bulb			Mean Daily Range
		1%	2.5%	5%	
WASHINGTON					
Aberdeen	12	80/65	77/62	73/61	16
Bellingham AP	150	81/67	77/65	74/63	19
Bremerton	162	82/65	78/64	75/62	20
Ellensburg AP	1729	94/65	91/64	87/62	34
Everett-Paine AFB	598	80/65	76/64	73/62	20
Kennewick	392	99/68	96/67	92/66	30
Longview	12	88/68	85/67	81/65	30
Moses Lake, Larson AFB	1183	97/66	94/65	90/63	32
Olympia AP	190	87/66	83/65	79/64	32
Port Angeles	99	72/62	69/61	67/60	18
Seattle-Boeing Fld	14	84/68	81/66	77/65	24
Seattle CO (S)	14	85/68	82/66	78/65	19
Seattle-Tacoma AP (S)	386	84/65	80/64	76/62	22
Spokane AP (S)	2357	93/64	90/63	87/62	28
Tacoma-Mc Chord AFB	350	86/66	82/65	79/63	22
Walla Walla AP	1185	97/67	94/66	90/65	27
Wenatchee	634	99/67	96/66	92/64	32
Yakima AP	1061	96/65	93/65	89/63	36
WEST VIRGINIA					
Beckley	2330	83/71	81/69	79/69	22
Bluefield AP	2850	83/71	81/69	79/69	22
Charleston AP	939	92/74	90/73	87/72	20
Clarksburg	977	92/74	90/73	87/72	21
Elkins AP	1970	86/72	84/70	82/70	22
Huntington CO	565r	94/76	91/74	89/73	22
Martinsburg AP	537	93/75	90/74	88/74	21
Morgantown AP	1245	90/74	87/73	85/73	22
Parkersburg CO	615r	93/75	90/74	88/73	21
Wheeling	659	89/72	86/71	84/70	21
WISCONSIN					
Appleton	742	89/74	86/72	83/71	23
Ashland	650	85/70	82/68	79/66	23
Beloit	780	92/75	90/75	88/74	24
Eau Claire AP	888	92/75	89/73	86/71	23
Fond du Lac	760	89/74	86/72	84/71	23
Green Bay AP	683	88/74	85/72	83/71	23
La Crosse AP	652	91/75	88/73	85/72	22
Madison AP (S)	858	91/74	88/73	85/71	22
Manitowoc	660	89/74	86/72	83/71	21
Marinette	605	87/73	84/71	82/70	20
Milwaukee AP	672	90/74	87/73	84/71	21
Racine	640	91/75	88/73	85/72	21
Sheboygan	648	89/75	86/73	83/72	20
Stevens Point	1079	92/75	89/73	86/71	23
Waukesha	860	90/74	87/73	84/71	22
Wausau AP	1196	91/74	88/72	85/70	23
WYOMING					
Casper AP	5319	92/58	90/57	87/57	31
Cheyenne AP	6126	89/58	86/58	84/57	30

جدول ۱ (ادامه)

State and Station	Elevation Ft	Design Dry-Bulb and Mean Coincident Wet-Bulb			Mean Daily Range
		1%	2.5%	5%	
WYOMING (Con't)					
Cody AP	5090	89/60	86/60	83/59	32
Evanston	6860	86/55	84/55	82/54	32
Lander AP (S)	5563	91/61	88/61	85/60	32
Laramie AP (S)	7266	84/56	81/56	79/55	28
Newcastle	4480	91/64	87/63	84/63	30
Rawlins	6736	86/57	83/57	81/56	40
Rock Springs AP	6741	86/55	84/55	82/54	32
Sheridan AP	3942	94/62	91/62	88/61	32
Torrington	4098	94/62	91/62	88/61	30

- اقتباس از فصل ۲۴ کتاب راهنمای اصول ASHRAE (۱۹۸۱)
- ارتفاع معرف سطح زمین است. دماها در ارتفاع ۵ فوت بالاتر ثبت شده‌اند مگر در حالت زیرنویس ۲ که معرف شرایط پشت بام است.
- درصدها معرف تعداد ساعت کل dbt مساوی یا بالاتر از مقادیر مندرج طی ۲۹۲۸ ساعت از ماه‌های ژوئن تا سپتامبر است. مقادیر wbt معرف محتمل‌ترین همزمانی با یک dbt معین است.
- اختلاف دمای میانگین روزانه (mean daily range) عبارت است از اختلاف بین حداکثر و حداقل dbt در مدت ۲۴ ساعت طی گرم‌ترین ماه سال
- ایستگاه‌های هواشناسی بدین صورت مشخص شده‌اند: AP: فرودگاه، AFB: پایگاه نیروی هوایی، CO: دفتر شهری

ملاحظات اقلیمی و نیاز به سرمایش

از آنجا که تعداد ساعت کلی که هر جفت از شرایط همزمانی که در طی متوسط سال‌ها رخ می‌دهند را می‌توان محاسبه کرد، میزان نیاز به سرمایش به همراه تعداد ساعت کل کارکرد کولر و مصرف توان نیز قابل محاسبه است.

معمولاً سرمایش مورد نیاز یک سطح توسط جداولی نشان داده می‌شود که تعداد ساعت کلی که طی آن دماهای خشک و مرطوب از مقادیر کلیدی تخطی می‌کنند را ارائه می‌دهد، مثل جداول ۳، ۴ و ۵ فصل ۵. بسیاری از سطوحی که نیاز کمی به سرمایش دارند قادر به توجیه هزینه‌های اولیه و جاری برای سرمایش برودتی نبوده ولی از نظر سرمایش تبخیری مناسب و مقرون به صرفه هستند.

جدول ۲- دماهای طرح همزمان منتخب کانادا

ناحیه و ایستگاه	ارتفاع		دمای خشک طرح و دمای مرطوب همزمان میانگین			اختلاف دمای میانگین روزانه
	فوت	متر	1%	2.5%	5%	
Brandon, Manitoba	1200	366	NA	86/70	83/68	25
Winnipeg AP, Manitoba	786	240	NA	86/71	84/70	22
Chatham, Ontario	600	183	NA	87/73	85/72	19
Cornwall, Ontario	210	64	NA	87/72	84/71	21
Hamilton, Ontario	303	92	NA	86/72	83/71	21
Kitchener, Ontario	1125	343	NA	85/72	83/71	23
London AP, Ontario	912	278	NA	85/73	83/72	21
Oshawa, Ontario	370	113	NA	86/72	84/71	20
Ottawa AP, Ontario	413	126	NA	87/71	84/70	21
Sarnia, Ontario	625	191	NA	86/72	84/71	19
Toronto AP, Ontario	578	176	NA	87/72	85/71	20
Windsor AP, Ontario	637	194	NA	88/73	88/72	20
Hull, Quebec	200	61	NA	87/71	84/70	21
Montreal AP, Quebec	98	30	NA	85/72	83/71	17
St. Jean, Quebec	129	39	NA	86/72	84/71	20
Valley Field, Quebec	150	46	NA	86/72	84/71	20
Estevan AP, Saskatchewan	1884	574	NA	89/68	86/67	26
Moose Jaw AP, Saskatchewan	1857	566	NA	89/67	86/66	27
Swift Current AP, Saskatchewan	2677	816	NA	90/66	87/65	25

یک راه ترسیمی‌تر برای نمایش نیاز سرمایشی عبارت است از نگاشت‌ها و جداول درجه-روز سرمایش^۱ که در برخی کتاب‌های راهنما آمده‌است. محدوده درجه-روز سرمایش از سالانه ۴۰۰۰ برای میامی (Miami) و براونسویل (Brownsville) تگزاس تا کمتر از ۵۰۰ برای اورگون (Oregon)، واشنگتن، آیداهو و بیشتر مونتانا، وایومینگ، کلرادو، یوتا و نوادا به انضمام سواحل شمالی لوس‌آنجلس در کالیفرنیا متفاوت است.

در جدول ۳ این فصل، نیازهای سرمایشی به همراه توانایی موجود محل برای سرمایش تبخیری ارائه شده‌است. در اولین فهرست، سان فرانسیسکو تا سانت لیک سیتی ضریب تاثیر بر نیازهای ملموس پیشی بسته‌است: وقتی سانفرانسیسکو تنها ۶۳ ساعت در فصل به ۸۰ F (۲۶/۷ C) یا بالاتر می‌رسد و دمای داخلی نسبت به حداکثر دمای کوتاه مدت دارای تاخیر است، تعداد ساکنین و سادگی سازه‌ها توجیه کننده سرمایه‌گذاری برای سرمایش است.

علیرغم ارتفاع غیرعادی دنور و سالت لیک سیتی آن‌ها چند صد ساعت در طول تابستان به $F 80$ (C) یا بالاتر می‌رسند. خوشبختانه، نوسانات روزانه $F 28$ و $F 32$ (C) و $F 15/6$ و $F 17/8$ آن‌ها موجب دمای میانگین شبانه $F 50$ (C) می‌شود. در نتیجه، تهویه شبانه به صورت طبیعی یا مکانیکی به اضافه تابش به آسمان صاف و سیاه می‌تواند موجب پیش سرمایه‌ش اغلب سکنه و ساختمان‌های عادی در برابر گرمای پیش از ظهر شود.

در دومین فهرست، منطقه فرودگاه لوس آنجلس دارای سرمایه‌ش طبیعی ناشی از ساحل اقیانوس بوده اما خیابان‌های مرکزی شهر که تنها چند کیلومتر با ساحل فاصله دارند دارای $F 581$ ساعت تابستانی با دمای $F 80$ (C) یا بالاتر و $F 586$ ساعت با دمای مرطوب $F 67$ (C) یا بالاتر هستند. شرایط اخیر تنها اجازه سرمایه‌ش تبخیری مستقیم نیمه اقتصادی را می‌دهد.

بوستون و مینیاپولیس دارای فصل گرم کوتاهی بوده و موجب می‌شود که سرمایه‌ش برودتی چندان مقرون به صرفه نباشد. افت دمای مرطوب معتدل آن‌ها موجب عدم جسارت در استفاده از سرمایه‌ش مستقیم شده ولی موجب استقبال از کولرهای غیرمستقیم دارای مرحله دوم به صورت سرمایه‌ش تبخیری مستقیم یا برودتی شده (فصول ۲۰، ۲۱ و ۲۲) و موجب صرفه جویی در سرمایه‌گذاری و هزینه انرژی می‌شود.

جدول ۳- نمونه داده‌های نشانگر سه سطح مختلف از میزان نیاز به سرمایه‌ش

ایستگاه	دمای خشک		دمای مرطوب			
	ساعات معادل 93F (34C)	ساعات بیش از 80F (27C)	ساعات معادل 73F (23C)	ساعات بیش از 67F (19C)		
با نیاز کم						
San Francisco	8	2.4	2	63	0	13
Seattle	400	122	3	87	0	22
Denver	5283	1610	35	667	0	3
Salt Lake City	4220	1286	139	932	0	26
با نیاز متوسط						
Los Angeles AP	97	30	7	99	3	291
Los Angeles CO	270	82	38	581	23	586
Las Vegas	2162	659	943	2427	7	425
Boston	15	4.6	16	394	125	762
Minneapolis	834	254	19	475	178	772
با نیاز بالا						
Chicago	607	185	46	700	275	1111
Washington, DC	14	4.3	41	910	580	1744
Kansas City	791	241	164	1278	654	1828
Atlanta	1010	308	52	1109	703	2454
Houston	96	29	132	1888	2694	3695
Miami	7	2.1	8	2408	3313	4221

- ساعات نشان داده شده بر اساس ۲۹۲۸ ساعت از ماه ژوئن تا سپتامبر بوده و در نتیجه با جدول ۴ تفاوت می‌کند.
- به تاثیر ارتفاع توجه کنید.

گروه سوم شامل شش شهر است که در آن‌ها سرمایه‌های تابستانی ضروری است. این شهرها بر اساس ترتیب کاهشی از نظر قابلیت کاربرد سرمایه‌های تبخیری مستقیم فهرست شده‌اند مگر در صورتی که به تهویه هوا نیاز است مثل رختشویخانه‌ها، آشپزخانه‌های تجاری، و بسیاری از واحدهای صنعتی. در تمام آن‌ها به جز هوستون و میامی، سرمایه‌های غیرمستقیم مرحله‌ای باید به خوبی کار کرده و در مقایسه با سرمایه‌های برودتی، به ویژه در طی رخداد حداکثر گرمای تابستانی، موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی شود.

حتی در هوستون و میامی، و در واقع در تمام ساختمان‌هایی که به صورت برودتی خنک شده که به هوای تازه ورودی نیاز دارند، واحدهای هوای جبرانی تبخیری مستقیم (فصل ۱۰) جای خود را دارند. آن‌ها از طریق سرمایه‌های یا پیش سرمایه‌های ارزان قیمت هوای جبرانی موجب صرفه‌جویی در ظرفیت و مصرف توان واحدهای برودتی می‌شوند. دوره‌های بازگشت سرمایه کوتاه بوده، به ویژه در هنگامی که این دستگاه‌ها هوای جبرانی زمستانی را گرم نیز می‌کنند.

به طور کلی، هر چه نسبت محلی ساعات دمای خشک F_{80} (۲۶/۷ C) یا بالاتر به دمای مرطوب F_{67} (۱۹/۴ C) یا بالاتر بزرگتر باشد تعداد ساعات سرمایه‌های خوب بیشتری در قبال هزینه سرمایه‌گذاری سرمایه‌های تبخیری مستقیم تامین می‌شود.

البته، وقتی بر روی آب و هوا تمرکز می‌کنیم یک امکان قوی وجود دارد. اگر دفتری در شهر لوس آنجلس، که تعداد ساعات فوق مربوط به دمای خشک و دمای مرطوب آن تقریباً یکسان است، تنها امکان ارائه سرمایه‌های مستقیم را بدهد که نیمه اقتصادی محسوب می‌شود، می‌توان برای سرمایه‌های تبخیری مستقیم یک آستانه پایینی تقریب نمود. به ویژه، تا وقتی که داده‌های بهتری یافته شود، بهتر است سرمایه‌های تبخیری مستقیم در حدود نسبت سه ساعت دمای خشک به چهار ساعت دمای مرطوب باشد تا پایین‌ترین توجیه اقتصادی حاصل شود. البته در سرمایه‌های غیرمستقیم مرحله‌ای، می‌توان از نسبت‌های کمتری استفاده کرد.

جدول ۴- داده‌های دمایی ایالات متحده به منظور تشریح نیاز آماری به سرمایه‌ش

ایالت و ایستگاه	داده‌های طراحی تهویه مطبوع			
	ساعات مساوی یا بالاتر			
	F(C) 93 (33.9)	F(C) 80 (26.7)	F(C) 73 (22.8)	F(C) 67 (19.4)
ALABAMA:				
Anniston	119	1372	839	2699
Bates Field, Mobile	80	1269	1500	3555
Birmingham	119	1372	839	2699
Fairhope	73	1818	2505	3598
Gadsden	119	1372	839	2699
Huntsville	105	1240	1124	2526
Maxwell AFB	256	1743	1755	3207
McClellan, Fort	119	1372	839	2699
Mobile	106	1844	2505	3598
Montgomery	184	1611	1286	3111
Selma	225	1689	1835	3218
Thomasville	137	1591	1561	3213
Tuscaloosa	180	1533	1171	2872
ALASKA:				
Anchorage	0	6	1	6
Attu	0	0	0	0
Barrow	0	0	0	0
Fairbanks	1	53	1	9
Juneau	0	6	0	12
Whittier	0	0	0	0
ARIZONA:				
Flagstaff	0	176	0	0
Kingman AFS	324	1662	1	343
Phoenix	1170	2771	1025	2277
Tucson	795	2445	173	1422
Yuma	1422	3148	947	1874
ARKANSAS:				
Camden	239	1618	1824	3128
Fayetteville	108	1207	716	1925
Hot Springs	191	1559	1190	2494
Little Rock	163	2014	1324	2740
Pine Bluff Arsenal	176	1641	1613	2802
Texarkana	259	1730	1824	3128
CALIFORNIA:				
Anaheim	32	728	32	700
Bakersfield	501	1648	19	520
Barstow	545	1763	35	502
Berkeley	0	13	0	0
Burbank	96	775	6	346
Chula Vista NAAS	13	207	18	526
Compton	3	152	19	378
Coronado	1	24	2	317
Edwards AFB	533	1556	15	284
Fresno	370	1364	36	539
Inglewood	9	125	5	400
Livermore	168	873	1	90

جدول ۴ (ادامه)

State and Station	Air Conditioning Design Data			
	Hours equal or above			
	Dry Bulb, F (C)	Wet Bulb, F (C)		
	93 (33.9)	80 (26.7)	73 (22.8)	67 (19.4)
CALIFORNIA (Con't)				
Long Beach	10	250	19	378
Los Angeles Intl Aprt	9	125	5	400
Los Angeles Post Office	23	576	6	346
Merced	330	1299	45	611
Moffett Field NAS	3	107	1	84
Monterey, Presidio of	0	14	0	8
Oakland	2	89	0	10
Palo Alto	3	107	1	84
Pasadena	81	924	6	346
Pomona	348	1213	91	684
Richmond	2	89	0	10
Riverside	326	1209	35	518
Sacramento	188	1006	13	351
San Bernardino	318	1188	84	692
San Diego	4	130	2	317
San Francisco	2	50	0	12
San Jose	6	157	1	84
San Luis Obispo	11	329	0	7
San Rafael	14	228	38	288
Santa Barbara	2	44	0	38
San Ysidro	8	168	10	421
Stockton	244	1017	9	330
Sunnyvale	3	107	1	84
Torrance	3	152	19	378
Van Nuys	96	775	6	346
COLORADO:				
Colorado Springs, Peterson Field	9	508	0	0
Denver	26	647	0	3
Pueblo	147	909	0	50
Trinidad	41	743	1	18
CONNECTICUT:				
Bridgeport	6	302	301	1150
Groton	7	292	227	1050
Hartford	18	476	253	1106
New Haven	3	193	301	1150
New London NAVSTA	7	292	227	1050
Stamford	8	345	196	894
Waterbury	4	344	163	889
DELAWARE:				
Bethany Beach	7	461	680	1760
Dover AFB	31	683	680	1760
Lewes	8	456	634	1743
Wilmington	29	623	351	1191
DISTRICT OF COLUMBIA:				
Andrews AFB	34	761	543	1682
Washington National Aprt	72	1002	709	1881
FLORIDA:				
Bartow	147	1730	2807	4018

جدول ۴ (ادامه)

State and Station	Air Conditioning Design Data			
	Hours equal or above			
	Dry Bulb, F (C)	Wet Bulb, F (C)		
	93 (33.9)	80 (26.7)	73 (22.8)	67 (19.4)
FLORIDA (Con't)				
Cocoa Beach	11	2113	3242	4174
Daytona Beach	37	1597	2800	4165
Fort Lauderdale NOL	1	2052	2315	3254
Jacksonville	198	1792	1835	3646
Key West NAVSTA	4	3131	3840	4381
Miami	12	2388	3293	4248
Orlando	51	1609	2613	3958
Pensacola NAS	14	1884	2594	3629
St. Augustine	55	1777	2800	4165
St. Petersburg	55	2154	3032	4082
Tallahassee	84	1538	2021	3567
Tampa	56	1786	2014	4013
Venice	16	1589	3039	4085
GEORGIA:				
Albany	289	1747	1847	3323
Athens	127	1398	724	2446
Atlanta	73	1004	740	2397
Augusta	174	1431	1445	2912
Columbus	218	1511	1518	3047
Macon	206	1549	1520	3069
Marietta NAS	82	1154	740	2397
Savannah	91	1442	1931	3405
Valdosta	139	1539	1898	3464
HAWAII:				
Hickam AFB	0	1342	312	3999
Kahoku	0	1113	571	4197
Pearl Harbor	0	1342	312	3999
Wheeler AFB	0	576	162	3322
IDAHO:				
Arco	115	606	0	0
Boise	96	679	2	62
Idaho Falls	6	356	0	7
Lewiston	153	878	1	56
Pocatello	56	601	0	3
Twin Falls	171	841	0	26
ILLINOIS:				
Arlington Heights	23	525	290	1029
Champaign	55	788	445	1392
Chicago	59	727	298	1109
Cicero	30	622	312	1339
Decatur	61	935	582	1645
Evanston	28	424	290	1029
Joliet	49	676	324	1150
Kankakee	39	659	298	1109
Moline	43	703	391	1259
O'Hare International Aprt	23	525	290	1029
Peoria	44	612	410	1227

جدول ۴ (ادامه)

State and Station	Air Conditioning Design Data			
	Hours equal or above			
	Dry Bulb, F (C)	Wet Bulb, F (C)		
	93 (33.9)	80 (26.7)	73 (22.8)	67 (19.4)
ILLINOIS (Con't)				
Quincy	66	794	596	1584
Rock Island Arsenal	37	633	388	1236
Springfield	61	935	582	1645
INDIANA:				
Bloomington	63	848	564	1656
Columbus	63	848	564	1656
Evansville	97	1090	619	1753
Fort Wayne	29	581	264	1072
Gary	23	525	290	1029
Hammond	23	525	290	1029
Indianapolis	45	763	417	1462
Lafayette	55	788	445	1392
Michigan City	19	563	288	1116
Muncie	42	655	417	1462
South Bend	19	563	288	1116
Terre Haute	50	834	501	1596
IOWA:				
Cedar Rapids	32	540	403	1387
Des Moines	56	738	429	1306
Dubuque	8	381	168	694
Iowa City	43	622	403	1387
Sioux City	79	796	362	1171
Waterloo	8	425	350	1157
KANSAS:				
Dodge City	235	1135	85	1098
Kansas City	200	1092	669	1852
Riley, Fort	217	1235	765	1921
Salina	346	1390	665	1888
Topeka	176	1154	656	1820
Wichita	248	1290	502	1949
KENTUCKY:				
Ashland	67	979	526	1891
Covington	45	764	342	1435
Lexington	62	954	448	1687
Louisville	86	1041	700	1938
Owensboro	171	1195	772	1959
LOUISIANA:				
Baton Rouge	133	1634	2032	3478
Lake Charles	103	1807	2512	3602
New Orleans	66	1733	2609	3665
Shreveport	311	1846	2008	3198
MAINE:				
Augusta	9	298	63	448
Bangor	5	220	87	448
Bar Harbor	0	137	30	264
Lewiston	9	298	63	448
Portland	9	236	78	494
Winter Harbor	0	103	23	231

جدول ۴(ادامه)

State and Station	Air Conditioning Design Data			
	Hours equal or above			
	Dry Bulb, F (C)		Wet Bulb, F (C)	
	93 (33.9)	80 (26.7)	73 (22.8)	67 (19.4)
MARYLAND:				
Aberdeen Proving Ground	1	500	559	1482
Annapolis USNA	12	651	626	1946
Baltimore, Friendship Appt	53	833	573	1617
Bethesda NATNAVMEDCEN	60	913	610	1739
Cumberland	25	627	390	1360
Hagerstown	26	560	399	1446
Ocean City	7	461	680	1760
MASSACHUSETTS:				
Boston Army Base	20	420	133	815
Cambridge	20	420	133	815
Fall River	1	164	121	877
Lawrence	29	506	157	785
Lynn	20	420	133	815
Nantucket	0	15	20	603
New Bedford	1	164	121	877
North Truro AFS	1	164	121	877
Pittsfield	2	199	47	352
Quincy	16	294	118	525
Salem	15	408	162	764
Springfield	11	426	165	825
Watertown Arsenal	26	420	133	815
Worcester	7	297	95	675
MICHIGAN:				
Ann Arbor	8	418	120	762
Battle Creek	25	511	169	833
Bay City	11	422	159	686
Benton Harbor	7	359	122	693
Dearborn	21	495	185	908
Detroit	21	495	185	908
Flint	15	509	191	787
Grand Rapids	12	420	160	774
Houghton	0	97	28	237
Kalamazoo	25	511	169	833
Lansing	7	323	163	749
Marquette	1	114	27	228
Muskegon	4	247	124	712
Pontiac	9	414	146	765
Saginaw	15	392	160	718
Willow Run	12	410	146	825
Ypsilanti	12	410	146	825
MINNESOTA:				
Bemidji	15	258	38	331
Duluth	0	132	29	244
Hastings	19	496	195	794
International Falls	3	152	18	199
Little Falls	15	402	101	547

جدول ۴ (ادامه)

State and Station	Air Conditioning Design Data			
	Hours equal or above			
	Dry Bulb, F (C)	Wet Bulb, F (C)		
	93 (33.9)	80 (26.7)	73 (22.8)	67 (19.4)
MINNESOTA (Con't)				
Minneapolis	19	496	195	794
Minneapolis-St. Paul International Airport	19	496	195	794
Rochester	12	336	223	856
Worthington	25	470	138	681
MISSISSIPPI:				
Biloxi	48	2052	2599	3675
Greenville	247	1686	1734	2962
Gulfport	48	2052	2599	3675
Jackson	212	1611	1592	3050
Natchez	155	1674	2117	3302
Vicksburg	212	1611	1592	3050
MISSOURI:				
Columbia	116	1066	596	1730
Hannibal	76	867	596	1584
Jefferson City	134	1080	638	1813
Joplin	141	1058	696	2019
Kansas City	200	1092	669	1852
St. Joseph	94	1125	589	1636
St. Louis	149	1151	676	1866
Springfield	103	964	550	1862
Wood, Fort Leonard	103	964	550	1862
MONTANA:				
Billings	54	515	0	42
Butte	1	175	0	0
Great Falls	15	286	0	6
Helena	8	242	0	6
Missoula	16	303	0	4
NEBRASKA:				
Grand Island	127	864	204	1069
Kearney	84	896	209	1006
Lincoln	163	1000	454	1414
North Platte	95	724	77	745
Omaha	106	901	496	1443
NEVADA:				
Carson City	23	574	0	0
Elko	56	661	0	3
Ely	4	519	0	1
Las Vegas	943	2360	6	380
Reno	38	647	0	0
NEW HAMPSHIRE:				
Concord	6	398	93	644
Manchester	29	506	157	785
New Castle	4	293	100	610
Pease AFB	4	293	100	610
Portsmouth NAVBASE	4	293	100	610
NEW JERSEY:				
Atlantic City	17	473	576	1558
Bayonne NSC	40	592	344	1290

جدول ۴(ادامه)

State and Station	Air Conditioning Design Data			
	Hours equal or above			
	Dry Bulb, F (C)	Wet Bulb, F (C)		
	93 (33.9)	80 (26.7)	73 (22.8)	67 (19.4)
NEW JERSEY (Con't)				
Camden	38	679	498	1464
Clifton	32	533	344	1290
Dix, Fort	32	616	438	1400
Dover	15	626	280	1045
Elizabeth	40	592	344	1290
Jersey City	40	592	344	1290
McGuire AFB	32	616	438	1400
Monmouth, Fort	34	599	416	1416
Newark	40	592	344	1290
Patterson	40	592	344	1290
Perth Amboy	25	494	367	1348
Picatinny Arsenal	15	626	280	1045
Trenton	15	448	438	1400
NEW MEXICO:				
Alamogordo	283	1519	1	269
Albuquerque	120	1130	0	20
Carlsbad	463	1779	7	988
Clovis	171	1199	7	321
Holloman AFB	369	1718	2	365
Roswell	416	1617	9	681
Sandia Base	120	1130	0	20
Santa Fe	15	686	0	2
White Sands	369	1718	2	365
NEW YORK:				
Albany	20	420	140	759
Binghamton	4	255	53	548
Brooklyn NAVYSHIPYD	40	592	344	1290
Buffalo	4	347	107	731
Corning	19	420	73	604
Drum, Camp	1	206	73	585
Elmira	19	420	73	604
Geneva	14	394	106	742
Hampstead	20	456	328	1271
Kennedy Airport	15	389	317	1279
Johnstown	9	383	92	639
Mitchell AFB	20	456	328	1271
Montauk AFS	4	225	246	1153
New Rochelle	33	648	323	1288
New York	33	648	323	1288
Niagara Falls	3	335	137	767
Olean	12	376	29	466
Poughkeepsie	38	623	332	1247
Rochester	19	419	129	724
Rome	4	328	102	667
Syracuse	16	433	122	797
U. S. Military Academy (West Point)	24	522	267	1059
Yonkers	40	592	344	1290

جدول ۱ (ادامه)

State and Station	Air Conditioning Design Data			
	Hours equal or above			
	Dry Bulb, F (C)	Wet Bulb, F (C)		
	93 (33.9)	80 (26.7)	73 (22.8)	67 (19.4)
NORTH CAROLINA:				
Asheville	14	610	212	1309
Cape Hatteras	2	934	1712	2720
Charlotte	94	1138	736	2366
Fayetteville	138	1260	1243	2614
Greensboro	50	916	525	1972
Raleigh-Durham Airport	99	1031	829	2305
Rocky Mount	67	1169	1214	2512
Wilmington	26	1246	1684	3031
Winston-Salem	20	806	414	1800
NORTH DAKOTA:				
Bismarck	43	471	56	371
Fargo	26	409	100	516
Grand Forks AFB	21	372	56	408
Minot	20	310	23	228
OHIO:				
Akron-Canton Airport	7	416	124	919
Canton	7	416	124	919
Cincinnati	35	802	703	1786
Cleveland	21	523	199	987
Dayton	29	679	255	1241
Columbus	9	602	243	1234
Marietta	78	813	399	1491
Springfield	35	793	360	1346
Toledo	36	590	242	1023
Wright-Patterson AFB	35	739	360	1346
Youngstown	12	388	115	783
OKLAHOMA:				
Bartlesville AFS	153	1364	842	1991
Enid	390	1543	797	2207
Norman	307	1579	805	2367
Oklahoma City	240	1439	762	2300
Stillwater	155	1444	1140	2468
Tulsa	301	1621	1083	2372
OREGON:				
Corvallis	28	391	1	100
Eugene	42	441	2	70
Hermiston	159	938	0	56
Klamath Falls	6	339	0	1
Portland	13	208	4	95
Salem	26	296	11	123
PENNSYLVANIA:				
Allentown	24	509	254	1123
Altoona	6	351	103	703
Erie	0	269	139	782
Harrisburg	55	744	435	1437
Johnstown	6	467	100	866
Philadelphia Army Depot	38	702	495	1507
Philipsburg	1	264	79	615
Pittsburgh	9	471	136	991

جدول ۱ (ادامه)

State and Station	Air Conditioning Design Data			
	Hours equal or above			
	Dry Bulb, F (C)	Wet Bulb, F (C)		
	93 (33.9)	80 (26.7)	73 (22.8)	67 (19.4)
PENNSYLVANIA (Con't)				
Reading	38	788	435	1437
Wilkes-Barre-Scranton Airport	5	400	118	875
York	55	744	435	1437
RHODE ISLAND:				
Kingston	3	230	221	1053
Pawtucket	6	316	180	915
Providence	6	316	180	915
Woonsocket	6	316	180	915
SOUTH CAROLINA:				
Charleston AFB	56	1252	1760	3184
Columbia	172	1359	1285	2807
Greenville	83	1083	637	2256
Myrtle Beach AFB	25	1204	1763	3084
Parris Island	115	1515	1994	3436
Spartanburg	83	1083	637	2256
Sumter	132	1372	1371	2841
SOUTH DAKOTA:				
Black Hills Army Depot	57	569	11	242
Huron	77	644	189	776
Mitchell	93	760	207	832
Rapid City	57	569	11	242
Sioux Falls	26	498	181	794
TENNESSEE:				
Chattanooga	170	1250	835	2371
Johnson City	40	850	301	1636
Kingsport	41	1126	389	1847
Knoxville	33	1009	427	2113
Memphis	207	1509	1332	2631
Nashville	162	1295	913	2307
Oak Ridge	46	1039	553	2158
TEXAS:				
Abilene	482	2005	298	2360
Amarillo	189	1176	8	710
Austin	547	2243	2201	3457
Beaumont	103	1807	2512	3602
Brownsville	119	2295	3299	3994
Corpus Christi NAS	154	2531	3090	3872
Dallas NAS	539	2304	1609	3001
El Paso	356	1860	6	505
Fort Worth	571	2207	1457	2983
Galveston	30	2639	2982	3790
Houston	139	1894	2675	3695
Laredo AFB	841	2756	2510	3784
Lubbock	229	1341	39	968
Paris	342	1838	1167	2822

جدول ۴ (ادامه)

State and Station	Air Conditioning Design Data			
	Hours equal or above			
	Dry Bulb, F (C)	Wet Bulb, F (C)		
	93 (33.9)	80 (26.7)	73 (22.8)	67 (19.4)
TEXAS (Con't)				
San Antonio	421	2004	1927	3463
Tyler	305	1855	1967	3193
Waco	536	2194	1873	3215
Wichita Falls	520	2047	787	2570
UTAH:				
Logan	53	603	0	14
Ogden	70	791	0	18
Provo	92	877	0	27
Salt Lake City	92	877	0	27
VERMONT:				
Burlington	5	284	73	579
North Concord AFS	0	9	0	103
St. Johnsbury	12	335	73	579
Winooski	5	284	73	579
VIRGINIA:				
Belvoir, Fort	34	839	709	1869
Cape Henry	54	974	982	2298
Charlottesville	28	826	462	1576
Dulles International Airport	54	841	549	1654
Hampton	58	952	1105	2374
Lynchburg	24	661	406	1660
Petersburg	120	1006	795	1991
Richmond	120	1006	795	1991
Roanoke	45	799	262	1508
Staunton	31	692	262	1508
Virginia Beach	54	974	982	2298
Yorktown	58	952	1105	2374
WASHINGTON:				
Aberdeen	1	17	0	13
Richland	103	689	8	192
Seattle-Tacoma Airport	4	91	0	17
Spokane	16	363	0	6
Tacoma	4	117	2	59
Walla Walla	51	601	2	104
Yakima	60	551	0	67
WEST VIRGINIA:				
Charleston	29	779	349	1563
Elkins	1	343	85	820
Huntington	67	979	526	1891
Morgantown	9	482	258	1248
Parkersburg	30	632	399	1491
Wheeling	9	471	136	991
WISCONSIN:				
Beloit	33	583	308	1031
Green Bay	4	264	100	574
La Crosse	13	476	266	944
Madison	19	485	200	888

جدول ۴(ادامه)

State and Station	Air Conditioning Design Data			
	Hours equal or above		73 (22.8)	67 (19.4)
	Dry Bulb, F (C)	Wet Bulb, F (C)		
	93 (33.9)	80 (26.7)		
WISCONSIN (Con't)				
Milwaukee	13	358	155	809
Oshkosh	19	388	100	574
WYOMING:				
Casper	24	546	0	1
Cheyenne	3	370	0	0
Sheridan	60	589	0	16
Sundance AFS Site 2	0	100	0	0

– ساعات درج شده همان‌هایی هستند که برابر یا بالاتر از دماهای معیار در طول ماه‌های مه تا اکتبر است.

– دماهای متریک معادل عبارت است از: $93\text{ F} = 34\text{ C}$; $80\text{ F} = 27\text{ C}$; $73\text{ F} = 23\text{ C}$; $67\text{ F} = 19\text{ C}$.

یادآوری: بهترین کاربرد این داده‌ها به صورت مقایسه دماهای خشک و مرطوب بالا با هم و دماهای خشک و مرطوب پایین با یکدیگر است.

داده‌های آب و هوایی مقایسه‌ای بین‌المللی

جدول ۵ از فصول ۱ و ۲ Engineering Weather Data AFM اقتباس شده که توسط بخش مهندسی و هواشناسی نیروی هوایی ایالات متحده منتشر در ۱۹۷۸ شده است.

قابلیت کاربرد بین‌المللی سرمایه‌ش تبخیری مستقیم

جدول ۶ این فصل، همان جدول ۵ است که سه منطقه عرض جغرافیایی، یکی مرز جنوبی ایالات متحده، یکی خود آن و یکی شمال آن را تقریب می‌کند. ترتیب ایستگاه در هر گروه مطابق جدول ۵ است و فقط برای نه شهر از اولین گروه، در زیر آن به صورت صعودی بر حسب عرض جغرافیایی، درج شده است. در این شهرها، گرما و رطوبت طی سال تقریباً موجب می‌شود که نسبت‌های ساعات دمای خشک و مرطوب به صورت بی معنی بر حسب عرض جغرافیایی مقایسه شوند.

ایجاد آسایش

وقتی مناطق آسایش فعلی ASHRAE با حرکت کم هوا (زیر ۴۰ fpm یا ۰/۲ m/s) برای افراد ساکن لباس پوشیده بر روی نمودارهای رطوبت سنجی استاندارد منطبق می‌شود تقریباً مستطیلی حاصل می‌شود که اضلاع عمودی آن توسط خطوط ET^* برابر ۷۲ F (۲۲/۲ C) و ۷۷ F (۲۵ C) تقریب شده و اضلاع پایینی و بالایی آن خطوط نقطه شبنم و نسبت رطوبت ثابت هستند. در فصل اخیر ما در مورد اعتبار مبتنی بر آسایش خط فوقانی برای سرمایه‌ش تبخیری بحث کردیم. اگر خطوط دمایی موثر بر طبق تعریف دارای آسایش ثابت باشند، این منطقه با عبور از خط فوقانی به بالا امتداد می‌یابد. از آنجا که مناطق آسایش قبلی ASHRAE تا منحنی‌های رطوبت نسبی ۶۰٪، ۷۰٪ و ۸۰٪ گسترش می‌یابند، ما منحنی ۸۰٪ را به عنوان مرز فوقانی برای سرمایه‌ش تبخیری انتخاب می‌کنیم و در مناطق دارای تهویه هوای ضعیف یا در جایی که رطوبت می‌تواند مضر باشد رطوبت نسبی ۷۰٪ را به عنوان جایگزین در نظر می‌گیریم.

جدول ۵- داده‌های سرمایه‌ش تبخیری و نیاز سرمایه‌ش جهان

Country Station	Location			Summer Design Data Air Conditioning										Summer Criteria Data Air Conditioning			
	Lat °	Long °	Elev. Meters	Dry Bulb					Wet Bulb					Dry Bulb Hours	Wet Bulb Hours	Dry Bulb Hours	Wet Bulb Hours
				1% °C	MCWB °C	2.5% °C	MCWB °C	Range °C	1% °C	MCWB °C	2.5% °C	MCWB °C	5% °C				
ADEN	N 12.50	E 45.02	3	37.2	27.2	36.7	26.7	8	36.1	26.1	30.0	29.4	28.9	698	4261	4155	4413
Aden	N 12.50	E 45.02	3	99	81	98	80	14	97	79	86	85	84				
AFGANISTAN	N 34.33	E 69.13	1791	36.1	20.0	35.0	18.9	18	33.9	17.8	22.2	21.2	20.0	155	1515	18	190
Kabul	N 34.33	E 69.13	1791	97	68	95	66	33	93	64	72	70	68				
ALGERIA	N 36.43	E 3.15	5876	35.0	22.8	32.8	22.2	13	31.1	22.2	25.0	23.9	23.3	50	774	265	1497
Algiers	N 36.43	E 3.15	5876	95	73	91	72	24	88	72	77	75	74				
ARGENTINA	S 34.50	W 58.32	20	33.9	22.8	32.2	21.7	12	30.6	21.1	24.4	23.3	22.8	38	519	162	1127
Buenos Aires	S 34.50	W 58.32	20	93	73	90	71	22	87	70	76	74	73				
AUSTRALIA	S 34.56	E 138.35	43	36.1	20.0	33.9	18.9	11	31.7	18.3	22.2	20.6	20.0	94	664	24	210
Adelaide	S 34.56	E 138.35	43	97	68	93	66	20	89	65	72	69	68				
Alice Springs	S 23.48	E 133.54	1781	103	68	102	68	26	100	67	75	74	72	705	2332	122	894
Brisbane	S 27.26	E 153.05	2	31.1	23.3	30.0	22.8	8	29.4	22.8	25.0	24.4	23.9	5	841	554	2760
Darwin	S 12.26	E 130.52	29	33.3	26.7	32.8	26.7	6	32.2	26.1	27.8	27.8	27.2	23	3186	4115	4322
Melbourne	S 37.40	E 144.50	423	34.4	20.6	31.7	20.0	17	29.4	19.4	21.7	21.1	20.0	39	299	4	212
Perth	S 31.56	E 115.58	56	37.8	22.2	36.1	21.7	14	33.9	21.1	24.4	23.9	22.8	151	822	146	908
Sidney	S 33.57	E 151.11	3	31.1	21.7	28.3	21.1	9	26.7	21.1	23.3	22.8	22.2	16	201	73	1207
AUSTRIA	N 48.07	E 16.34	183	30.0	20.0	28.9	20.0	12	27.2	19.4	21.1	20.0	19.4	2	180	4	194
Vienna	N 48.07	E 16.34	183	86	68	84	68	22	81	67	70	68	67				
AZORES	N 38.46	W 27.06	55	26.1	21.7	25.6	21.1	6	24.4	20.6	22.2	21.7	21.1	0	24	17	889
Lajes Field	N 38.46	W 27.06	180	79	71	78	70	11	76	69	72	71	70				

		Summer Design Data Air Conditioning										Summer Criteria Data Air Conditioning						
		Dry Bulb					Wet Bulb					Dry Bulb		Wet Bulb				
Country Station	Lat ° N	Long ° W	Elev. Meters feet	1% °C °F	MCWB °C °F	2.5% °C °F	MCWB °C °F	Daily Range °C °F	P-wg Wind Dir	5% °C °F	MCWB °C °F	1% °C °F	2.5% °C °F	5% °C °F	≥ 33.9C ≥ 93F Hours	≥ 26.7C ≥ 80F Hours	≥ 22.8C ≥ 73F Hours	≥ 19.4C ≥ 67F Hours
BELGIUM	N	E	54	27.8	20.0	26.1	19.4	12	ENE	23.9	17.8	21.1	20.0	18.9	0	53	8	113
Brussels	50 54	4 28	178	82	68	79	67	22	ENE	75	64	70	68	66				
BERMUDA	N	W	3	30.0	24.4	29.4	24.4	4	S	28.9	24.4	25.6	25.0	25.0				
Kindley Field	32 22	64 41	10	86	76	85	76	7	S	84	76	78	77	77				
BRAZIL	S	W	16	32.2	26.1	32.2	26.1	9	E	31.1	25.6	27.2	26.1	26.1				
Belem	1 23	48 29	52	90	79	90	79	16	E	88	78	81	79	79	2	1526	4049	4391
Rio de Janeiro	S	W	3	33.9	26.1	32.8	25.0	8	S	32.2	25.6	26.7	26.1	25.6				
BURMA	N	E	10	93	79	91	77	14	S	90	78	80	79	78	51	1792	2852	4144
Rangoon	16 54	96 08	108	94	82	92	82	8	W	31.7	27.2	28.3	27.8	27.8				
CANADA	N	W	688	28.3	17.8	26.7	17.2	14	W	24.4	16.1	18.9	17.8	16.7	51	1979	4395	4416
Edmonton	53 40	113 28	2256	83	64	80	63	25	SE	76	61	66	64	62	0	79	0	23
Montreal	N	W	30	30.0	22.8	28.3	21.7	11	SW	27.2	21.1	23.9	22.8	21.7	2	205	79	545
Toronto	43 41	79 38	578	89	72	86	71	24	SW	83	70	75	73	71	7	306	95	571
Vancouver	N	W	5	25.0	18.9	23.9	17.8	10	WNW	22.2	17.2	19.4	18.9	17.8	0	9	1	29
Winnipeg	49 11	123 10	16	77	66	75	64	18	W	72	63	67	66	64				
CEYLON	N	E	5	31.1	26.1	30.6	26.1	7	S	30.6	25.6	27.2	26.7	26.1	4	230	36	257
Colombo	6 49	79 53	16	88	79	87	79	13	W	87	78	81	80	79	1	3274	4201	4411
CHILI	S	W	480	32.2	19.4	31.1	18.9	17	WSW	30.0	18.9	20.6	20.0	19.4	7	720	5	206
Santiago	33 23	70 47	1575	90	67	88	66	31	WSW	86	66	69	68	67				
CHINA	N	E	32	35.0	23.3	32.8	22.8	10	WSW	31.1	22.2	25.0	24.4	23.9	56	922	374	1374
Beijing	39 48	116 28	105	95	74	91	73	18	WSW	88	72	77	76	75				
Shanghai	N	E	5	35.0	27.8	33.9	27.8	8	S	32.2	27.2	28.3	27.8	27.2	74	1255	1805	2750
	31 10	121 26	16	95	82	93	82	14	S	90	81	83	82	81				

COLOMBIA	N	W	2547	21.1	13.9	20.6	13.9	12	19.4	13.9	15.5	15.0	14.4	0	0	0	1
Bogota	4.42	74.08	8356	70	57	69	57	22	67	57	60	59	58	0	0	0	1
COSTA RICA	N	W	1172	29.4	20.6	28.3	20.6	9	27.8	20.0	22.2	22.2	21.7	0	434	38	2197
San Jose	9.56	84.05	3845	85	69	83	69	17	82	68	72	72	71	0	0	0	0
CUBA	N	W	75	32.8	25.0	32.2	25.0	9	31.7	25.0	27.2	26.1	25.6	3	1653	2966	4272
Havana	22.59	82.24	246	91	77	90	77	17	89	77	81	79	78	3	0	0	0
DENMARK	N	E	5	23.9	18.3	22.8	17.8	8	21.7	16.7	18.6	18.3	17.8	0	2	0	28
Copenhagen	55.38	12.40	16	75	65	73	64	14	71	62	66	65	64	0	0	0	0
DOMINICAN REPUBLIC	N	W	14	32.2	26.7	32.2	26.7	9	31.1	26.1	27.2	27.2	26.7	3	1972	3689	4404
Santo Domingo	18.26	69.40	46	90	80	90	80	16	88	79	81	81	80	0	0	0	0
EQUADOR	S	W	2810	21.7	12.8	21.1	12.2	12	20.6	11.7	13.9	13.3	12.8	0	0	0	0
Quito	0.08	78.29	9222	71	55	70	54	22	69	53	57	56	55	0	0	0	0
EL SALVADOR	N	W	616	33.3	23.9	32.2	23.9	8	31.7	23.9	25.6	25.0	25.0	56	1337	2060	4315
San Salvador	13.42	89.07	2021	92	75	90	75	15	89	75	78	77	77	56	0	0	0
ETHIOPIA	N	E	2342	28.3	17.2	26.7	16.7	12	25.6	16.1	18.9	18.3	17.8	3	264	0	13
Addis Ababa	8.59	38.48	7684	83	63	80	62	22	78	61	66	65	64	3	0	0	0
FINLAND	N	E	10	41.1	27.2	40.0	26.7	9	38.9	26.1	30.0	29.4	28.9	1760	4235	4290	4416
Massawa	15.37	39.27	33	106	81	104	80	16	102	79	86	85	84	0	37	0	38
FINLAND	N	E	57	27.2	18.3	25.0	17.2	11	23.9	16.7	19.4	18.3	17.2	0	0	0	0
Helsinki	60.19	24.58	167	81	65	77	63	20	75	62	67	65	63	2	218	23	322
FRANCE	N	E	200	31.1	21.1	29.4	20.6	14	27.8	19.4	22.2	21.1	20.0	2	108	108	875
Lyon	45.44	4.57	1656	88	70	85	69	25	82	67	72	70	68	2	0	0	0
Marseilles	N	E	20	32.2	22.2	30.6	21.7	12	29.4	21.7	23.9	22.8	22.2	5	445	108	875
Nantes	43.27	5.13	66	90	72	87	71	21	85	71	75	73	72	2	107	23	271
FRENCH GUIANA	N	W	27	30.0	21.7	27.2	20.0	13	26.1	19.4	22.2	21.1	20.0	0	98	6	180
Paris	47.10	1.36	89	86	71	81	68	23	79	67	72	70	68	2	0	0	0
Cayenne	N	E	89	28.9	20.6	27.2	20.0	12	25.6	18.9	21.1	20.6	19.4	2	1780	4122	4416
FRENCH GUIANA	N	W	9	31.7	26.7	31.1	26.1	8	30.0	26.1	27.8	27.2	26.7	0	0	0	0
Berlin	48.44	2.24	292	84	69	81	68	22	78	66	70	69	67	2	0	0	0
GERMANY (West)	N	E	50	29.4	20.0	27.2	18.3	11	25.6	17.8	20.6	19.4	18.3	3	101	1	81
Hannover	52.29	13.24	164	85	68	81	65	20	25.0	18.3	21.1	20.0	19.4	0	91	11	158
Manheim	52.28	9.41	183	84	69	81	67	25	77	65	70	68	67	0	0	0	0
Munich	49.30	8.29	295	88	69	84	68	25	81	67	71	70	67	8	326	21	310
Accra	48.05	11.36	1860	85	67	81	66	24	25.0	18.3	20.0	19.4	18.3	1	103	0	77
GHANA	N	W	70	31.1	26.7	31.1	26.7	5	31.1	26.7	27.8	27.2	27.2	2	2973	4180	4377
ATHENS	37.54	23.44	33	93	71	91	71	15	32.2	21.7	25.6	25.0	23.9	60	1343	412	1768
Athens	37.54	23.44	33	93	71	91	71	15	32.2	21.7	25.6	25.0	23.9	60	1343	412	1768

		Summer Design Data Air Conditioning										Summer Criteria Data Air Conditioning						
Location		Dry Bulb					Wet Bulb					Dry Bulb		Wet Bulb				
Country Station	Lat ° , °	Long ° , °	Elev. Meters feet	1% °C °F	MCWB °C °F	2.5% °C °F	MCWB °C °F	5% °C °F	Pwlg Wind Dir	Mean Daily Range °C °F	1% °C °F	MCWB °C °F	2.5% °C °F	5% °C °F	≥ 33.9C ≥ 93F Hours	≥ 26.7C ≥ 80F Hours	≥ 22.8C ≥ 73F Hours	≥ 19.4C ≥ 67F Hours
GUATEMALA Guatemala City	N 14 35	W 90 31	1489 4885	26.1 79	18.3 65	25.0 77	18.3 65	24.4 76	NNE	10 18	18.3 65	20.0 67	19.4 66	18.9	0	48	1	206
HAITI Port Au Prince	N 18 35	W 72 18	108 353	36.1 97	26.7 80	35.0 95	26.7 80	33.9 93	ESE	9 17	26.7 80	27.8 81	26.7 80	26.7	187	2455	2575	4406
HONDURAS Tegucigalpa	N 14 03	W 87 13	3305	31.1 88	22.2 72	30.6 87	21.7 71	30.0 86	NE	11 20	21.1 70	23.3 73	22.8 72	22.2	5	892	96	2556
HONG KONG Hong Kong	N 22 19	E 114 12	16	33.3 92	26.7 80	32.2 90	26.7 80	31.7 89	W	6 10	26.7 80	27.8 81	27.2 81	27.2	11	2973	3647	4183
HUNGARY Budapest	N 47 26	E 19 14	443	30.6 87	22.2 72	29.4 85	21.1 70	27.8 82	S	14 26	20.0 68	23.3 74	22.2 70	21.1	2	241	62	438
ICELAND Reykjavik	N 64 08	W 21 56	59	17.2 63	11.6 53	16.1 61	11.6 53	15.0 59	E	6 10	11.1 52	12.8 55	12.2 54	12.2	0	0	0	0
INDIA Bombay	N 19 05	E 72 51	36	35.0 95	27.2 81	33.3 92	26.7 80	32.2 90	W	5 9	26.7 80	27.8 81	27.2 81	27.2	95	2346	4345	4392
New Delhi	N 28 35	E 77 12	705	41.1 106	25.0 77	40.0 104	25.0 77	37.8 100	NW	9 17	25.0 77	28.3 82	27.8 81	27.2	1078	3414	2565	3429
INDONESIA Jakarta	S 6 09	E 106 51	5	32.2 90	26.1 79	31.7 89	26.1 79	31.1 88	E	7 12	26.1 79	27.2 80	26.7 80	26.7	0	2006	4114	4344
IRAN Abadan	N 30 22	E 48 15	10	45.0 113	23.3 74	43.9 111	23.3 74	42.8 109	WNW	17 31	22.8 73	27.2 81	25.0 77	25.0	0	3510	529	2314
Mashhad	N 36 16	E 59 38	3245	36.1 97	17.8 64	35.0 95	17.2 63	33.9 93	E	16 29	17.2 63	20.0 68	18.9 65	18.3	188	1270	6	60
Tehran	N 35 41	E 51 19	3949	38.3 101	16.7 62	37.2 99	16.1 61	36.1 97	SSE	13 23	16.1 61	18.9 66	17.8 64	17.8	496	2007	0	19
IRAQ Baghdad	N 33 14	E 44 14	112	45.0 113	22.2 72	43.9 111	22.2 72	42.8 109	WNW	17 30	21.7 71	23.9 74	23.3 73	22.8	1554	3043	174	1485

Country Station		Summer Design Data Air Conditioning										Summer Criteria Data Air Conditioning												
		Location					Dry Bulb					Wet Bulb					Dry Bulb					Wet Bulb		
Lat °, ' N	Long °, ' E	Elev. Meters feet	1% °C °F	MCWB °C °F	2.5% °C °F	MCWB °C °F	5% °C °F	Pvlg Wind Dir	5% °C °F	MCWB °C °F	1% °C °F	2.5% °C °F	5% °C °F	≥33.9C ≥93F Hours	≥26.7C ≥80F Hours	≥22.8C ≥73F Hours	≥19.4C ≥67F Hours							
Mean Daily Range °C °F																								
NETHERLANDS	N 52 18	E 4 46	- 4	27.2	20.6	25.0	19.4	11	22.8	18.3	21.1	20.0	18.9	0	31	10	126							
Amsterdam	S 38	E 27	17.8	64	79	63	25	NNW	75	62	66	65	63	0	63	1	24							
NEW ZEALAND	S 43 29	E 172 32	123	23.9	17.8	22.8	17.2	6	21.7	16.7	18.9	18.3	17.2	0	1	0	17							
Christchurch	S 41 20	E 174 48	40	75	64	73	63	11	31.7	25.6	27.2	26.7	26.1	45	2085	3508	4410							
Wellington	N 12 07	E 86 11	174	91	77	90	78	12	31.1	26.7	27.8	27.2	27.2	2	2973	4180	4377							
NICARAGUA	N 6 35	E 3 20	131	88	80	88	80	9	88	80	82	81	81	0	72	0	24							
Managua	N 59 54	E 10 37	56	82	64	80	62	25	77	62	66	65	63	0	72	0	24							
NIGERIA	N 24 54	E 67 09	102	102	75	99	77	14	95	80	84	83	82	416	3951	3870	4240							
Lagos	N 8 58	E 79 33	30	91	80	90	80	15	89	79	81	80	80	9	1871	4260	4416							
NORWAY	N 25 14	E 57 31	292	101	77	99	76	24	96	75	80	79	78	352	1679	1521	3758							
Oslo	S 12 01	E 77 07	112	82	73	80	72	12	26.1	22.2	23.3	22.8	22.2	0	113	104	2546							
PAKISTAN	N 14 31	E 121 01	74	95	79	94	79	16	33.9	25.6	27.8	27.2	26.7	122	2148	4258	4413							
Karachi	N 52 11	E 20 59	361	84	68	81	66	22	25.6	17.8	21.1	20.0	19.4	0	105	3	153							
PANAMA	N 8 58	E 79 33	30	91	80	90	80	15	89	79	81	80	80	9	1871	4260	4416							
Albrook Field	S 25 14	E 57 31	292	101	77	99	76	24	96	75	80	79	78	352	1679	1521	3758							
PARAGUAY	S 12 01	E 77 07	112	82	73	80	72	12	26.1	22.2	23.3	22.8	22.2	0	113	104	2546							
Asuncion	N 14 31	E 121 01	74	95	79	94	79	16	33.9	25.6	27.8	27.2	26.7	122	2148	4258	4413							
PERU	N 52 11	E 20 59	361	84	68	81	66	22	25.6	17.8	21.1	20.0	19.4	0	105	3	153							
Lima	N 38 46	E 9 08	374	91	70	88	69	23	28.9	20.0	22.2	21.7	20.6	19	332	27	493							
PHILIPPINE ISLANDS	N 14 31	E 121 01	74	95	79	94	79	16	33.9	25.6	27.8	27.2	26.7	122	2148	4258	4413							
Manila	N 52 11	E 20 59	361	84	68	81	66	22	25.6	17.8	21.1	20.0	19.4	0	105	3	153							
POLAND	N 52 11	E 20 59	361	84	68	81	66	22	25.6	17.8	21.1	20.0	19.4	0	105	3	153							
Warsaw	N 38 46	E 9 08	374	91	70	88	69	23	28.9	20.0	22.2	21.7	20.6	19	332	27	493							
PORTUGAL	N 38 46	E 9 08	374	91	70	88	69	23	28.9	20.0	22.2	21.7	20.6	19	332	27	493							
Lisbon	N 38 46	E 9 08	374	91	70	88	69	23	28.9	20.0	22.2	21.7	20.6	19	332	27	493							

PUERTO RICO	N	W	3	31.7	25.0	31.1	25.0	7	ENE	30.6	25.0	26.1	26.1	25.6	2227	3655	4413
San Juan	18.26	66.00	10	89	77	88	77	13		87	77	79	79	78	1		
SAUDI ARABIA	N	E	23	43.8	23.3	42.7	23.3	13		41.7	23.3	30.0	29.4	28.9	1800	2055	3674
Dhahran Field	26.16	50.10	75	111	74	109	74	24	N	107	74	86	85	84			
	N	E	524	43.8	20.0	43.3	19.4	13		42.7	18.9	23.3	22.8	21.7	1813	3392	710
Riyadh	24.42	46.44	2047	111	68	110	67	23	N	109	66	74	73	71			
SINGAPORE	N	E	18	32.2	26.1	31.7	25.6	7	SE	31.1	26.1	27.2	26.7	26.7	4	2075	4404
Singapore	1.21	103.55	59	90	79	89	78	7		88	79	81	80	80			
SOMALIA	N	E	12	32.8	26.1	31.7	25.6	7	SW	31.1	25.6	27.2	26.7	26.7	5	2118	4344
Mogadiscio	2.02	45.21	39	91	79	89	78	12		88	78	81	80	80			
SOUTH AFRICA	S	E	1248	32.8	18.9	31.1	18.3	12		30.0	17.8	20.6	20.0	19.4	22	844	1
Pretoria	25.39	28.13	4094	91	66	88	65	21	E	86	64	69	68	67			
SOVIET UNION	N	E	190	30.0	19.4	27.2	18.9	13	E	25.6	17.8	20.6	19.4	18.9	4	98	3
Moscow	55.58	37.25	623	86	67	81	66	23		78	64	69	67	66			
SUDAN	N	E	383	42.2	21.1	40.6	21.1	13	SW	39.4	21.1	27.8	27.2	26.7	1678	3823	1465
Khartoum	15.36	32.33	1257	108	70	105	70	24		103	70	82	81	80			
SWEDEN	N	E	15	27.2	17.8	26.1	17.8	12	S	24.4	16.1	18.9	18.3	17.2	0	48	0
Stockholm	59.21	17.57	49	81	64	79	64	22		76	61	66	65	63			
SWITZERLAND	N	E	510	28.3	18.9	26.7	17.8	10	E	25.0	17.2	20.0	18.9	17.8	1	84	0
Bern	46.55	7.30	1673	83	66	80	64	18		77	63	68	66	64			
	N	E	430	30.0	19.4	27.8	18.9	13	E	26.7	18.3	20.6	20.0	18.9	0	149	0
Geneva	46.15	6.08	1411	86	67	82	66	24		80	65	69	68	66			
TAIWAN	N	E	6	34.4	27.2	33.3	26.7	9	E	32.8	26.7	28.9	28.3	27.8	74	1932	3266
Taipei	25.04	121.33	20	94	81	92	80	16		91	80	84	83	82			
THAILAND	N	E	4	36.1	27.2	35.6	26.7	11	S	34.4	26.7	28.3	27.8	27.2	353	3144	4368
Bangkok	13.55	100.37	12	97	81	96	80	19		94	80	83	82	81			
TUNISIA	N	E	5	36.1	23.9	33.9	23.9	11	E	32.2	22.8	25.6	25.0	23.9	87	1008	540
Tunis	36.50	10.14	16	97	75	93	75	20		90	73	78	77	75			
UNITED ARAB REPUBLIC/EGYPT	N	E	112	37.8	21.1	36.1	21.1	14	NNW	34.4	21.7	24.4	23.3	23.3	295	1892	308
Cairo	30.08	31.24	367	100	70	97	70	25		94	71	76	74	74			
UNITED KINGDOM	N	W	41	22.2	16.7	21.1	16.1	10	WSW	18.9	15.0	17.8	16.7	15.6	0	1	0
Edinburgh	55.57	3.21	135	72	62	70	61	18		66	59	64	62	60			
	N	W	24	26.1	18.3	25.0	17.8	11	E	22.8	16.7	19.4	18.3	17.8	0	26	0
London	51.29	00.27	79	79	65	77	64	20		73	62	67	65	64			
URUGUAY	S	W	23	32.2	22.2	30.6	21.1	11	NNNE	28.3	20.0	23.9	22.8	21.7	16	359	88
Montevideo	34.50	56.02	75	90	72	87	70	20		83	68	75	73	71			
VENEZUELA	N	W	835	30.0	22.2	28.9	21.7	6	E	28.3	21.1	23.3	22.8	22.2	0	684	177
Caracas	10.30	66.53	2740	86	72	84	71	11		83	70	74	73	72			
VIETNAM	N	E	10	34.4	26.7	33.9	26.1	8	W	32.8	25.6	27.2	26.7	26.1	146	2704	4351
Saigon	10.49	106.39	33	94	80	93	79	13		91	78	81	80	79			
YUGOSLAVIA	N	E	99	31.7	21.1	30.0	20.6	13	SE	28.9	20.0	22.8	21.7	21.1	9	368	31
Belgrade	44.49	20.17	325	89	70	86	69	24		84	68	73	71	70			

جدول ۶- داده‌های آب و هوایی جهان که در سه منطقه عرض جغرافیایی دسته‌بندی شده‌اند

Stations inside 30°N/30°S latitude				Stations inside 30°00' & 44°59' latitude				Stations ≥ 45° latitude				
Station	Latitude	Elev Meters	DB ≥ 80F (27C) hours	WB ≥ 67F (19C) hours	Latitude	DB ≥ 80F (27C) hours	WB ≥ 67F (19C) hours	Latitude	DB ≥ 80F (27C) hours	WB ≥ 67F (19C) hours		
Aden	12 50N		4261	4413	Kabul	34 33N	1515	190	Vienna	48 07N	180	194
Alice Springs	23 48S		2332	894	Algiers	36 43N	774	1497	Brussels	50 54N	53	113
Brisbane	27 26S		841	2760	Buenos Aires	34 50S	519	1129	Edmonton	53 40N	79	23
Darwin	12 26S		3186	4322	Adelaide	34 56S	664	210	Montreal	45 28N	205	545
Belem	1 23S		1526	4391	Melbourne	37 40S	299	212	Vancouver	49 11N	9	29
Rio de Janeiro	22 54S		1792	4144	Perth	31 56S	822	908	Winnipeg	49 54N	230	257
Rangoon	16 54N		1979	4416	Sidney	33 57S	201	1207	Copenhagen	55 38N	2	28
Colombo	6 49N		3274	4411	Lajes Field	38 46N	24	889	Helsinki	60 19N	37	38
Havana	22 59N		1653	4272	Kindley Field	32 22N	1272	3626	Lyon	45 44N	218	322
Santa Domingo	18 26N		1972	4404	Toronto	43 41N	306	571	Nantes	47 10N	107	271
San Salvador	13 42N		1337	4315	Santiago	33 23S	720	206	Paris	48 44N	98	180
Massawa	15 37N		4235	4416	Beijing	39 48N	922	1374	Berlin	52 29N	101	81
Cayenne	4 49N		1780	4416	Shanghai	31 10N	1255	2750	Hannover	52 28N	91	158
Accra	5 36N		2973	4377	Marseilles	43 27N	445	875	Manheim	49 30N	326	310
Port Au Prince	18 35N		2455	4406	Athens	37 54N	1343	1768	Munich	48 05N	103	77
Hong Kong	22 19N		2973	4183	Abadan	30 22N	3510	2314	Budapest	47 26N	241	438
Bombay	19 05N		2346	4392	Mashhad	36 16N	1270	60	Reykjavik	64 08N	0	0
New Delhi	28 35N		3414	3429	Tehran	35 41N	2007	19	Dublin	53 26N	1	1
Djakarta	6 09S		2006	4344	Baghdad	33 14N	3043	1485	Shannon	52 41N	2	10
Abidjan	5 15N		2973	4377	Jerusalem	31 47N	748	383	Milano	45 26N	429	987
Mandera	3 56N		3184	4065	Tel Aviv	32 00N	1390	2277	Amsterdam	52 18N	31	126
Monrovia	6 15N		1900	4383	Naples	40 53N	472	1061	Oslo	59 54N	72	24
Kuala Lumpur	3 07N		2009	4406	Rome	41 48N	729	1286	Warsaw	52 11N	105	153
Managua	12 07N		2085	4410	Nagasaki	32 44N	1103	2499	Moscow	55 58N	98	110
Lagos	6 35N		2973	4377	Sapporo	43 03N	143	650	Stockholm	59 21N	48	28
Karachi	24 54N		3951	4240	Tokyo	35 33N	723	2048	Bern	46 55N	84	41
Albrook Field	8 58N		1871	4416	Amman	31 58N	1363	525	Geneva	46 15N	149	135

هر گونه تقاطع دماهای خشک و مرطوبی که درون این منطقه بیافتد موجب ایجاد آسایش برای برخی از ساکنین منازل در ایالات متحده شده که بیشترین درصد در نزدیک محور آن منطقه (یعنی خط ET^* برابر $F 73$ ($C 23/9$)) بوده و کمترین درصد در مرزهای چپ و راست آن قرار دارد. از آنجا که یک خط ET^* نشانگر آسایش ثابت است، احساس انسان در طی شرایطی که از این خط جدا می‌شود تا حدی تغییر می‌کند.

بردارهای مسیر فرآیند

شرایط اتاق طی مسیر فرآیند از سمت راست به منطقه آسایش میل می‌کند. این مسیرها از نقاط حالت نمودار رطوبت سنجی هوا آغاز می‌شود که معرف هوای ورودی به کولرهای برودتی یا تبخیری است و به هوای تغذیه یا شسته شده برای اتاق‌های مورد سرمایه‌ش تبدیل می‌شود.

بردارهای مسیر فرآیند در سرمایه‌ش برودتی و غیر مستقیم در مقایسه با فرآیند آدیاباتیک سرمایه‌ش تبخیری راحت‌تر وارد منطقه ASHRAE می‌شوند. این امر به خاطر زاویه است. بردارهای اول افقی بوده و مستقیماً به سمت منطقه جهت‌دهی می‌شوند در حالی که بردارهای دوم مطابق خطوط دمای مرطوب ثابت بوده و با زاویه 40° درجه به سمت چپ و بالا حرکت می‌کنند و ممکن است از بالای آن عبور کنند.

برای مثال، اگر هوای برگشتی $F 80$ ($C 26/7$) به صورت محسوس از طریق سرمایه‌ش برودتی خنک شود، مسیر به صورت افقی به چپ به سمت داخل آن منطقه است. این که این مسیر از منطقه عبور کرده، از طریق خط اشباع تا نقطه شبنم مناسب حرکت کرده و سپس مجدداً به درون منطقه بازگردد در اینجا اهمیتی ندارد. به طور مشابه اگر هوای بیرون در دمای $F 95$ ($C 35$) و دمای مرطوب $F 67$ ($C 19/4$) از طریق سرمایه‌ش غیرمستقیم تک مرحله‌ای به صورت محسوس خنک شود، مسیر فرآیند به صورت افقی به سمت داخل منطقه ASHRAE است (به شکل ۱ این فصل مراجعه کنید).

البته وقتی هوا از شرایط اولیه یکسان، به صورت آدیاباتیک خنک می‌شود، بردار مسیر فرآیند آن یک خط دمای مرطوب $F 67$ ($C 19/4$) را به صورت قطری به سمت چپ دنبال می‌کند تا اشخاص نشسته ساکن را تغذیه کرده (منطقه ASHRAE)، با سرعت هوای پایین در گوشه راست (بالا) و برای معدودی موجب ایجاد آسایش شود. اگر کولر با دمای خشک $F 95$ ($C 35$) و دمای مرطوب $F 68$ ($C 20$) شروع به کار کند بردار مسیر اصلاً وارد آن منطقه نمی‌شود.

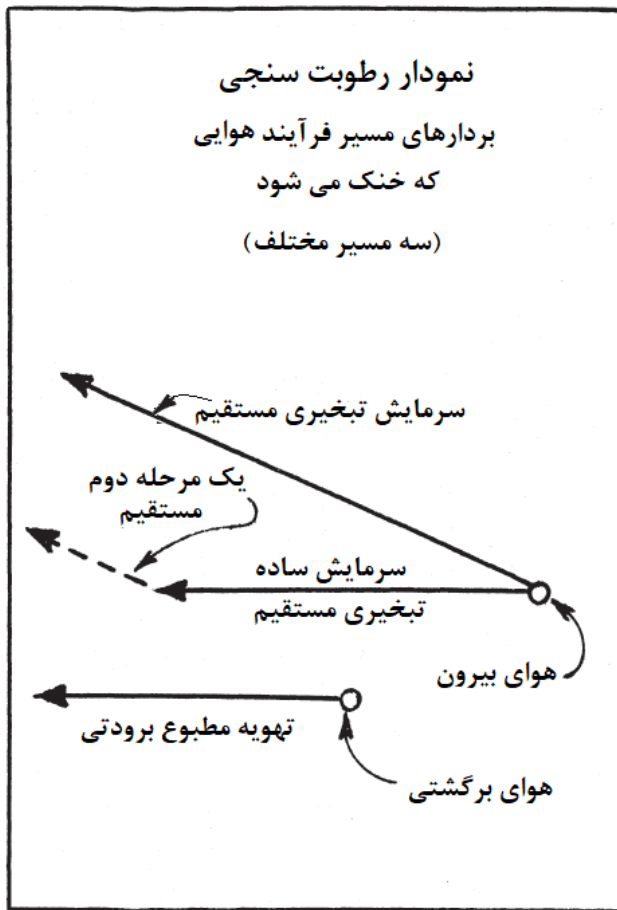
البته تجربه ۵۰ ساله سرمایه‌ش تبخیری نشان می‌دهد که با دمای مرطوب بیرونی بالاتر نیز می‌توان به سادگی به آسایش رسید زیرا خطوط دمای موثر در عمل به خط فوقانی بالای منطقه ASHRAE فعلی امتداد یافته‌اند. این امتداد رو به بالا در شکل ۲ زیر از شکل ۸ فصل ۳۹ (سرمایش تبخیری هوا) کتاب راهنمای سیستم‌های ASHRAE (۱۹۸۰) اقتباس شده است.

دماهای مرطوبی که به بردارهای نمودار رطوبت سنجی اجازه می‌دهند تا مناطق آسایش سرمایه‌ش تبخیری مورد نظر و ASHRAE را ایجاد کنند

با در نظرگیری این که عوامل معماری و فیزیولوژیکی بی‌تاثیر بوده و سرعت هوا و فعالیت‌های انسان نیز تاثیر یکسانی دارند، محدوده جغرافیایی برای سرمایه‌ش تبخیری مستقیم تقریباً به طور کامل به دماهای مرطوب بیرونی بستگی دارد که بر مسیرهای فرآیند سرمایه‌ش حاکم هستند، با این وجود باید در نظر گرفت که حرارتی که وارد فرآیند شده و غیر از حرارتی است که وارد هوا می‌شود موجب از بین رفتن ماهیت آدیاباتیک آن می‌شود. در نتیجه، برخورد نور خورشید یا حرارت رسانش شده از هوای داغ بیرون به یک کولر موجب می‌شود که بردارها رو به پایین شده و مستلزم دماهای مرطوب اولیه کمتری برای ایجاد آسایش یکسان شوند. در مورد حرارتی که وارد آب می‌شود، همچون آن چه در لوله‌های واقع در یک پشت بام تیره که در معرض تابش خورشید رخ می‌دهد، نیز همین موضوع برقرار است.

میزان این انحراف در هر تاسیساتی متفاوت است در نتیجه قابل محاسبه نیست. البته در کولرهای با کیفیتی که بازتابنده نور خورشید بوده و با دقت نصب و متصل شده و در ظرفیت کامل خود کار می‌کنند، به نظر می‌رسد که این حرارت اضافی احتمالاً تاثیر بسیار کمی بر روی جریان دارد. بدین ترتیب هر یک درجه فانهیت (0.56 deg C) دمای مرطوب کمتر می‌تواند همان گونه که در شکل زیر نشان داده شده به خوبی جبران و تنظیم شود.

به طور مشابه، برداری که صرفاً به گوشه یک منطقه آسایش نزدیک می‌شود تعداد معدودی را مسرور می‌کند. بنابراین ما در اینجا فرض می‌کنیم که بردارها باید در حداقل 1 deg F (0.56 deg C) در پایین گوشه، به منطقه آسایش برخورد کنند. اغلب بردارهای سرمایه‌ش مستقیم، به ویژه در سرعت‌های بالای هوا یا وقتی که اشخاص بسیار فعال بوده یا به مدت زمان طولانی‌تری با شرایط خو گرفته‌اند، به سادگی در پایین همانجا به منطقه آسایش سرمایه‌ش تبخیری برخورد می‌کنند.



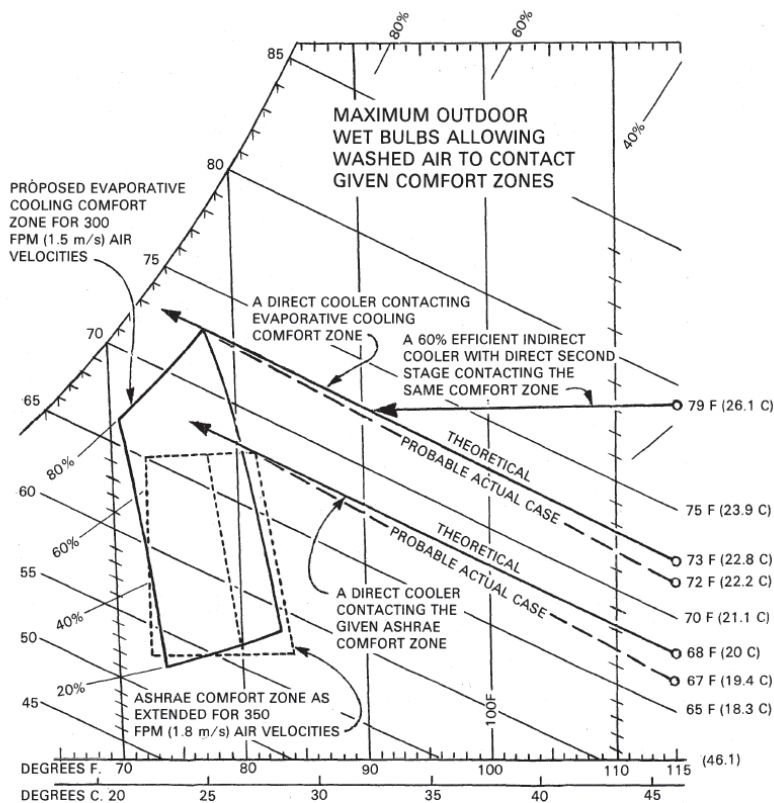
همان گونه که در زیر نشان داده می شود، برای اشخاص نشسته در اتاق با سرعت هوای 300 fpm (1.5 m/s)، حداکثر دمای مرطوب بیرون که می تواند آسایش ASHRAE را ایجاد کند برابر 66 F (18.9 C) است. برای منطقه آسایش سرمایش تبخیری پیشنهادی مقدار آن 71 F (21.7 C) و برای یک کولر غیرمستقیم با بازده 60 درصد که دارای یک مرحله دوم مستقیم است مقدار آن 77 F (25 C) است (به شکل ۲ این فصل مراجعه کنید).

از نظر محدوده جغرافیایی، جداول فوق مکان های با دماهای مرطوب کمتر از سه مقدار فوق را فهرست کرده، که در صورت عدم درج در ستون، درون گروه های $2/5$ درصد و 5 درصد است. مجدداً عوامل معماری و فیزیولوژیکی نیز دخیل هستند. همچون سرعت هوا، میزان فعالیت انسان و خوگیری با

شرایط، می‌تواند دمای مرطوب موضعی موثر را یک یا دو درجه کاهش داده و مناطق حاشیه‌ای را دستخوش موفقیت سازد.

کولرهای غیرمستقیم و محدوده جغرافیایی

تقریباً تمام مکان‌ها، دارای مقداری پتانسیل برای استفاده از کولرهای غیرمستقیم مرحله‌ای هستند. البته دستگاه‌های ساده غیرمرحله‌ای به ندرت هوا را به اندازه کافی خنک کرده یا سرعت هوای داخلی کافی را برای نیل به منطقه آسایش ایجاد می‌کنند. در این رابطه به افت دمای مرطوب زیادی نیاز است.



شکل ۲- نمودار آسایش برای تعیین محدوده جغرافیایی سرمایش تبخیری. مناطق آسایش ASHRAE و طراحی شده برای سرمایش تبخیری (چپ) که تا ۳۵۰ و ۳۰۰ fpm (۱/۸ و ۱/۵ m/s) برای سرعت هوای داخلی بسط داده شده، در اینجا برای سه بردار رطوبت سنجی مورد نظر بودند. با لمس گوشه‌های منطقه، که به صورت نظری بالاترین دماهای مرطوب هوای بیرون را تعیین می‌کنند، مسیر یک آسایش تعریف شده ارائه می‌شود. در بالا، یک بردار دمای مرطوب ثابت ۷۳ F (۲۲/۸ C) به صورت نظری حد بالایی کولرهای مستقیمی است که یک آسایش سرمایش تبخیری نمادین را بر

اساس سرعت هوای 300 fpm ($1/5 \text{ m/s}$) ایجاد می‌کنند. در پایین، دمای مرطوب 68 F (20 C) بالاترین دمای مرطوب برای منطقه آسایش ASHRAE است. همانگونه که نشان داده شده، در هر دو حالت، کولرهای واقعی مستلزم 1 F ($0/56$) دمای مرطوب کمتر برای غلبه بر تابش خورشیدی به بدنه^۱ کولر بوده که موجب گرم شدن آب جبرانی می‌شود. در مرکز، یک کولر دو مرحله‌ای مستقیم-غیرمستقیم محدوده جغرافیایی گسترده خود را به نمایش می‌گذارد. هر چه بازده مرحله سرمایش غیرمستقیم بالاتر باشد، دمای مرطوب محیط بالاتر بوده و این کولرها می‌توانند به آسایش نمادین دست یابند. در اینجا، یک بازده 60 درصد دمای مرطوب 79 F ($26/1 \text{ C}$) را که در حالت نظری قابل قبول است را ایجاد کرده یا در عمل به 78 F ($25/6 \text{ C}$) می‌رسد. در حالی که آسایش نمادین بلا استفاده، است حداقل آسایش انسان احتمالاً مستلزم دمای مرطوب بیرونی بیش از یک درجه در زیر سه سطح معیار تنظیمی فوق است: که به ترتیب عبارتند از 71 F ($21/7 \text{ C}$)، 66 F ($18/9 \text{ C}$) و 77 F (25 C). نقاطی از جهان که دمای مرطوب بعدازظهر آن‌ها از این مقادیر بالاتر نیستند، در صورتی که عوامل معماری و فیزیولوژیکی اجازه دهند، باید آسایش واقعی خود را از سرمایش تبخیری به دست بیاورند. در غیر این صورت، باید یک روش مناسب سرمایش تسکین بخش انجام شود که در هر دو منطقه آسایش، موجب راحتی اغلب افراد مشابه با مبنای ساکنین ایالات متحده شود. به طور طبیعی سرعت‌های بالاتر هوای داخل موجب دمای مرطوب بالاتر می‌شود. این شکل از فصل ۳۹ کتاب راهنمای سیستم‌های ASHRAE (۱۹۸۰) اقتباس شده است.

کولرهای تبخیری غیرمستقیم دارای یک مرحله دوم تبخیری مستقیم، قابلیت انطباق بیشتری را دارند. مرحله اولیه غیرمستقیم یک بردار نقطه شبنم ثابت افقی را به سمت چپ ایجاد می‌کند (مثل تبرید). البته بر خلاف بازده 70 تا 90 درصدی بازده در سرمایش مستقیم، بازده کولرهای غیر مستقیم معمولاً 40 تا 70 درصد است. اما مرحله غیرمستقیم، دماهای خشک و مرطوب هوا را کاهش داده در نتیجه علیرغم زاویه رو به بالا در حالت دمای مرطوب ثابت، بردار مرحله دوم مستقیم معمولاً به سادگی شرایط آسایش را ایجاد می‌کند. در واقع، اغلب بردار مرحله دوم هر منطقه را به صورت کامل قطع کرده و مجدداً نظیر هوای شسته شده‌ای که گرما و رطوبت اتاق را جذب می‌کند از سمت چپ وارد منطقه شده و نوک بردار را رو به بالا و به سمت راست جهت می‌دهد.

قابل ذکر است که کاهش چند درجه‌ای دمای مرطوب هوا موجب می‌شود که این سیستم غیر مستقیم، در مقایسه با سیستم مستقیم، در هوای بیرونی مرطوب‌تر نیز ایجاد آسایش کرده و هوای شسته شده خشک‌تری به کولر تحویل دهد. این امر موجب می‌شود حجم کمتری در طی سرعت‌های هوای اتاق پایین‌تر خنک شده و موجب کاهش ابعاد کانال و فن و همچنین مصرف توان شود.

در صورتی که مرحله مستقیم دارای یک مرحله اولیه غیرمستقیم با ضریب تاثیر سرمایش 60 درصد شود، می‌تواند در هنگامی که دمای مرطوب هوای بیرون 77 F (25 C) یا کمتر است، شرایط آسایش را ایجاد کند. در ساختمان‌های مناسبی که دارای اتاق‌های بزرگ سایه‌دار بوده و رنگ دیوارهای داخلی آن سرد است، دمای مرطوب هوای بیرونی حتی می‌تواند سردتر نیز باشد. سرعت هوای اتاق نیز

می‌تواند به اندازه کافی پایین باشد(هر چند از سرمایه‌ش برودتی بالاتر است) به طوری که مانع از پراکندگی بی‌مورد اوراق کاغذ در دفاتر اداری می‌شود. البته پس از خنک کردن اتاق‌ها، هوای شسته شده مجدداً به بیرون تخلیه می‌شود. در این رابطه، سیستم‌های سرمایه‌ش غیرمستقیم قادر به خنک‌سازی هوای جبرانی دستگاه‌های تهویه مطبوع برودتی نیستند. البته هوای شسته شده استفاده شده را به همراه هوای استفاده شده ثانویه حاصل از مرحله غیر مستقیم را می‌توان در کندانسورهای هوا-خنک هر سیستم برودتی مجاور(حتی دستگاه تهویه مطبوع) به کار برد.

افزودن مرحله برودتی به کولرهای تبخیری غیرمستقیم موجب طولی‌تر شدن بردار افقی مسیر فرآیند مرحله اخیر به سمت چپ و قطع منطقه و احتمالاً پایین رفتن از خط اشباع و دفع مقداری رطوبت می‌شود. در واقع همواره این امر موجب سرمایه‌ش کافی هوای تغذیه شده تا قادر به جذب گرمای اتاق شده و نوک بردار آن به سمت مرکز منطقه آسایش باز می‌گردد. این سیستم‌ها را می‌توان در هر جایی به کار گرفت.

به حجم یا سرعت بالای هوا نیازی نبوده و لزومی به دفع هوای سرمایه‌ش نیست؛ در صورتی که این هوا به اندازه کافی خشک و تمیز باشد می‌توان آن را همچون هوای برگشتی مورد بازیافت قرار داد. در عین حال، هوای ثانویه حاصل از مرحله غیرمستقیم را می‌توان برای سرمایه‌ش کندانسور مرحله دوم برودتی استفاده کرد تا صرفه‌جویی اقتصادی افزایش یابد.

در برخی اقلیم‌ها، در آب و هوای مورد علاقه و یا شب هنگام، مرحله غیر مستقیم می‌تواند کل بار سرمایه‌ش را جذب کند. بدین ترتیب مصرف و استهلاک کمپرسور کاهش می‌یابد. به طور مشابه، از مرحله غیرمستقیم می‌توان برای پیش گرمایش هوای جبرانی زمستانی استفاده کرده و موجب صرفه‌جویی در مصرف سوخت شد.

نهایت این که، در بین این‌ها دو نوع کولر تبخیری غیر مستقیم مرحله‌ای احتمالاً محدوده سرمایه‌ش تبخیری را حداقل ده برابر افزایش می‌دهند. احتمالاً نوع غیرمستقیم به تنهایی آن را با ضریب سه افزایش می‌دهد.

پرسش‌های دوره‌ای

۱. در بررسی محدوده جغرافیایی سرمایه‌ش تبخیری، مشکل رایج چیست؟ در هنگام یا محل استفاده از سرمایه تبخیری، چه عوامل دیگری لازم است تعیین شوند؟ تاثیر انواع کولرهای تبخیری را شرح دهید.
۲. اگر خوگیری به شرایط بدین معنا است که عدم آسایش اولیه به تدریج قابل تحمل و در ادامه موجب آسایش می‌شود، چرا فروشندگان در مقایسه با مشتریان گذری خود شرایط خنک‌تری را ترجیح می‌دهند؟ چه چیزی متناقض به نظر می‌رسد؟ خوگیری چقدر به طول می‌انجامد؟ چه چیزی موجب تداوم آن می‌شود؟
۳. دماهای طرح بیرون چیستند؟ در هنگام کاربرد آن‌ها برای سرمایه چه مشکلات اولیه‌ای رخ می‌دهد؟ برای گرمایش چه؟ برای حداقل‌سازی این مشکلات چه قراردادهایی توسعه یافته‌اند؟ شرح دهید که قبول چند ساعت عدم آسایش در طی فصل موجب صرفه جویی مالی شده و در عین حال ممکن است احساس هم نشود.
۴. چگونه دماهای طرح بیرون می‌توانند اقلیم‌های خاص را تشریح کنند؟ چه موضوعات آب و هوایی مرتبط با آسایش در آن‌ها چشم پوشی شده‌است؟ اگر به جای آن‌ها از دماهای متوسط بیرونی استفاده شود چه مشکلات طراحی و سلب آسایش رخ می‌دهد؟
۵. چگونه سیستم "دسته‌بندی" می‌تواند داده‌های ثبت شده کامپیوتری را به دماهای طرح بیرونی دقیق‌تری تبدیل کند؟ چرا مقادیر جدیدتر دقیق‌تر از مقادیر قدیمی‌تر هستند؟
۶. نوسان دمای روزانه چیست؟ چگونه اندازه‌گیری می‌شود؟ آیا از آن می‌توان به صورت سنتی در سرمایه ساختمان بهره گرفت؟ چگونه؟ چه روش‌های سرمایه‌ش جدیدی از نوسان دمای روزانه بهره می‌گیرند؟ چگونه می‌تواند موجب صرفه‌جویی در هزینه شود؟ چرا دیگر استفاده نمی‌شود؟
۷. در جداول آب و هوایی ۱ فصل ۵ چگونه می‌توانید افت دمای مرطوب را بیابید؟ کدام یک بزرگتر است: آبی که در ستون یک درصد، ۲ درصد یا ۵ درصد است؟ در مورد شهر فونیکس در ایالت آریزونا، چه دمای خشکی به مدت ۷ ساعت در فصل مساوی یا بزرگتر از دمای متوسط است؟ به طور مشابه در پالم اسپرینگ کالیفرنیا چه دمای مرطوبی به مدت ۳۵ ساعت در فصل مساوی یا بزرگتر است؟ برای بیرمنگهام آلاباما چه افت دمای مرطوبی برای ۱۷/۵ ساعت در فصل مساوی یا بزرگتر است؟
۸. برای پرسش ۷ فوق، دماها را از فارنهایت به سلسیوس تبدیل کنید.

۹. کدام چهار مکان در کانادا دارای بالاترین اختلاف دمای میانگین روزانه هستند؟ سه مکانی که پایین‌ترین دما را دارند کدامند؟ بیشترین افت دمای مرطوب در ستون ۵ درصد چیست؟ کوچکترین چیست؟ آیا رابطه‌ای وجود دارد؟ می‌توانید آن را شرح دهید؟
۱۰. در مقایسه شهرهای ایالات متحده، چرا شهر لاس وگاس نوادا دارای نیاز سرمایه‌ش کمتری نسبت به میامی فلوریدا محسوب می‌شود؟ این شهر تقریباً دارای ۱۲ برابر ساعات بیش از $F 93(C 34)$ است. چرا فرودگاه لوس‌آنجلس (و نه میامی) توسط اقیانوس مجاور خود خنک می‌شود، چرا هوستون تگزاس توسط خلیج خنک نمی‌شود؟
۱۱. چه وسایل سرمایه‌ش تبخیری حتی در هوستون و میامی کار می‌کنند؟ دو دلیل ذکر کنید که چرا آن‌ها در برخی ساختمان‌ها سریع‌تر هزینه خود را باز می‌گردانند؟ چرا آن‌ها در شمال بیشتر استفاده می‌شوند؟
۱۲. با صرف نظر از سایر عوامل، به نظر چه نسبت (ضریب تناسب) مبتنی بر آب و هوا، مکان‌هایی را پیشنهاد می‌کند که سرمایه‌ش تبخیری مستقیم بیشترین میزان آسایش را به ازای سرمایه‌گذاری صورت گرفته ارائه می‌دهد؟ با استفاده از ستون‌های $F 80(C 27)$ و $F 67(C 19)$ جدول ۳ فصل ۵، به نظر کدام سه شهر بهترین هستند؟ صرف نظر از هوستون و میامی کدام سه شهر بدترین هستند؟
۱۳. در عرض‌های جغرافیایی گرمسیری، چه جنبه‌ای از آب و هوا موجب می‌شود که سرمایه‌ش تبخیری اقتصادی نباشد (اگر چه می‌تواند عملی باشد)؟ عرض جغرافیایی چه تاثیری می‌تواند داشته باشد؟ چه عرض‌های جغرافیایی بیشترین فرصت را برای سرمایه‌ش تبخیری مستقیم ایجاد می‌کنند؟ بر اساس مکان‌های فهرست شده، ۱۰ مکانی که احتمالاً بهترین سرمایه‌ش مستقیم را داشته و ۱۰ مکان نسبتاً خوب از این بابت که البته سرمایه‌ش غیرمستقیم-مستقیم برای آن‌ها بهتر است را انتخاب کنید.
۱۴. راه‌هایی که به نظر در آن‌ها نمودارهای آسایش برای سرمایه‌ش تبخیری مستقیم نامناسب هستند را درج کنید. آن‌ها برای چه کلاسی از سرمایه‌ش تبخیری برآزش بهتری دارند؟ مناطق آسایش در کجا معرف شرایطی هستند که بیشتر افراد در تابستان احساس آسایش می‌کنند؟ بهترین دمای تقریبی برای شرایط آسایش در ایالات متحده چیست؟
۱۵. بردارهای مسیر فرآیند چه چیزی را نشان می‌دهند؟ معمولاً مبدا و منشا آن‌ها کجا است؟ جهت آن‌ها در طی سرمایه‌ش محسوس چیست؟ در طی سرمایه‌ش آدیباتیک چیست؟ چرا بردارهای سرمایه‌ش برودتی و سرمایه‌ش غیر مستقیم ساده مشابه است؟ چرا سرمایه‌ش تبخیری مستقیم دارای بردار مایل رو به بالا است؟ چه دریافت و تلفاتی را آن‌ها نشان می‌دهند؟ چه جهتی از بردار معرف دریافت حرارت و رطوبت است؟

۱۶. چگونه نمودار آسایش سرمایش تبخیری از نمودارهای رایج متفاوت هستند؟ مرزهای بالایی و پایینی چیستند؟ چرا در مقایسه با اغلب نمودارهای دیگر آن‌ها آسایش بهتری را برای انسان فراهم می‌کنند؟ برای حفاظت مواد در برابر رطوبت چه تمهیداتی در نظر گرفته می‌شود؟
۱۷. چه عواملی از نمودار آسایش ضرورتاً موجب حرکت مناطق آسایش به راست، به نواحی با دمای خشک بالاتر می‌شود؟ چه عوامل معماری تاثیر مشابهی دارند؟ چه رنگ‌آمیزی داخلی؟ روش‌های فیزیولوژیک برای تکمیل آن اثر را پیشنهاد کنید.
۱۸. وقتی بردارها مناطق آسایش را از راست به چپ در می‌نوردند چر آسایش حاصل نمی‌شود؟ چرا با حرکت در جهت معکوس، با تغییر شیب رو به بالا به سمت راست، آسایش حاصل می‌شود؟ چرا بخش کوتاه نهایی بردارها معرف تحویل اسایش به اتاق‌ها است؟ چه چیزی، در آن شیب‌های نهایی، معرف دریافت دما است؟ معرف دریافت رطوبت است؟ چگونه این دریافت‌ها موجب افزایش آسایش می‌شوند؟
۱۹. برای یک شرایط دمای مرطوب معلوم در یک مکان، چگونه ابعاد، جرم، عایق‌کاری، تابش خورشیدی دریافتی، رنگ‌آمیزی داخلی ساختمان و ضریب تاثیر سرمایش کولر مستقیم، بدون در نظرگیری مناطق آسایش، می‌توانند بر روی آسایش تاثیر بگذارند؟
۲۰. برای شرایط آب و هوایی یکسان، مزایای سیستم‌های غیر مستقیم-مستقیم نسبت به سیستم‌های مستقیم چیست؟ چرا ممکن است که آن‌ها، در اقلیم‌های مرطوب، برای خنک-سازی ادارات بهتر عمل کنند؟ چرا آن‌ها مکان‌های دودآلود، بخارآلود یا غبارآلود را می-توانند خنک کرده ولی قادر به پیش سرمایش هوای جبرانی برای دستگاه‌های تهویه مطبوع برودتی نیستند؟
۲۱. چرا به ویژه در هنگام لزوم به تهویه هوای بالا برای دفع آلاینده‌های هوا، سیستم‌های سرمایش برودتی غیر اقتصادی هستند؟ چگونه دستگاه‌های کوچک غیر مستقیم تک مرحله‌ای می‌توانند برای حل این مشکل کمک کنند؟ چگونه دستگاه‌های بزرگتر می‌توانند از نظر اقتصاد کلی کمک کنند؟ شرح دهید.
۲۲. یک سیستمی از فن‌ها، کانال‌ها و دمپرها را طرح کنید که در آن یک سیستم غیر مستقیم-مستقیم برای سرمایش تابستانی به کار رفته که در زمستان نیز قادر به پیش گرمایش آب جبرانی است.

فصل ۶

کولرهای تبخیری مستقیم از نوع آبی

رایج‌ترین کولرهای تبخیری به صورت جعبه‌های مکعبی فلزی یا پلاستیکی هستند که دارای فیلترهای عمودی بزرگ هوا در دیواره‌های خود بوده که پد نام دارد. پدها از مواد متخلخل رطوبت‌پذیری تشکیل می‌شوند که توسط قطرات آبی که پیوسته بر روی لبه بالایی آن‌ها می‌ریزد خیس می‌شوند. فن‌های موتوردار درون این جعبه‌ها هوا را از طریق پدها به داخل کشیده که همزمان موجب خنکی و مرطوب شدن این هوا شده و کولر را به صورت "هوای شسته شده" ترک می‌کند. بیشتر کولرها دارای فن دو یا سه سرعته هستند در نتیجه کاربر بر طبق نیاز خود آن را تنظیم می‌کند.

این کولرها که در زبان انگلیسی به نام‌های *water fan*، *desert cooler* و حتی *water cooler* نامیده شده‌اند امروزه با نام جهانی *drip cooler* (کولر آبی) شناخته می‌شوند. انواع کوچک این کولرها، اتاق‌ها، منازل، آپارتمان‌ها، خانه‌های متحرک، گاراژها، دفاتر و مغازه‌های کوچک را به همراه بسیاری از کامیون‌ها، تراکتورها، خودروهای تفریحی و تریلرهای مسکونی را تهویه و خنک می‌کنند. انواع بزرگ آن نیز بسیاری از فروشگاه‌های بزرگ، آشپزخانه‌های صنعتی، رختشویخانه‌ها و خشکشویی‌ها، صنایع شیمیایی، نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها، ریخته‌گری‌ها، ذوب فلزات، آسیاب‌ها، کارخانجات و حتی انبارهای غله، آشیانه‌های هواپیما، مدارس، کلیساها و سالن‌های ورزش را تهویه و خنک می‌کنند.

اندازه آن‌ها بر حسب توان فن متفاوت بوده و از یک چهلیم اسب تا $7/5$ اسب با ظرفیت از چند صد تا $36,000$ cfm ($17/5$ m³/s) هوای شسته شده خروجی متفاوت بوده ولی از نظر طراحی تفاوت اندکی بین آن‌ها برقرار است.

انواع بسیار کوچک آن به صورت قابل حمل (پرتابل) در داخل ساختمان استفاده می‌شوند. بقیه انواع در بیرون ساختمان نصب شده که بسیاری از آن‌ها در لبه پنجره نصب شده و بدون هیچ کانالی سرمایش به اتاق را انجام می‌دهند. انواع بزرگتر معمولاً در ایوان‌ها، شیروانی‌ها یا پشت بام‌ها، نصب شده و از طریق کانال اتاق‌ها را خنک می‌کنند. در برخی موارد این کولرها در بیرون و پایین‌تر از سطح کف نصب شده و از طریق کانال‌های درون زیرزمین^۱ یا فضای گریه‌رو^۲ سرمایش را انجام می‌دهند. اغلب انواع تجاری در پشت بام نصب می‌شوند. در کارخانجات بزرگ ممکن است از ۲۰، ۳۰ یا تعداد بیشتری کولر استفاده شود که به صورت ردیفی و با فاصله از هم در پشت بام قرار دارند.

طراحی بدنه کولر (کابینت)

تقریباً تمام کولرهای آبی دارای یک تشت^۳ (حوضچه) مربعی کم عمق در پایه خود و یک بخش متقارن در بالای کولر هستند. البته در آرکانزاس و کالیفرنیا کولرهای گرد و در استرالیا کولرهای شش وجهی ساخته می‌شوند. اغلب کولرهای آبی از طریق فرآیند قالب‌زنی ورق‌های فولادی به ضخامت ۰/۵۱ تا ۱/۲۹ mm ساخته می‌شوند. عمل پرسکاری موجب ایجاد انحنای مطلوب در گوشه‌ها و ایجاد صلبیت در برابر ارتعاشات می‌شود. کولرهای بزرگتر اغلب از طریق خمکاری و جوش دادن ورق‌های فولادی ضخیم‌تر ساخته شده و در نتیجه دارای گوشه‌ها و لبه‌های تیزتری هستند (به شکل ۱ این فصل مراجعه کنید).

اغلب کولرهای آبی دارای کف مسطحی بوده و اغلب دارای سوراخ حلقه مانند یا آویز خارجی هستند تا موجب سهولت نصب آن‌ها در پنجره، دیوار در پنجره‌ها، دیوارهای سه گوش زیر شیروانی‌ها^۴، یا دیوارهای جانبی بشود. تشت کولر دارای مجرای تخلیه یا خروجی‌های سرریز در نقاط پایین خود بوده و در اغلب انواع کوچک آن بخش رزوه‌داری برای اتصال به شیلنگ باغچه وجود دارد.

فن کولر در بالای تشت نصب می‌شود. در کولر فن‌های^۵ کوچک و ارزان، فن‌ها اغلب از نوع محوری هستند. اغلب کولرها دارای دمنده‌های گریز از مرکز یا "قفس سنجابی"^۶ هستند که هم کم صداتر است و هم در برابر مقاومت استاتیک کانال‌ها هوا را بهتر تحویل می‌دهد.

1- Basement
2- Crawl-space
3- Pan
4- Garble
5- Fan cooler
6- Squirrel cage

فن‌ها توسط سه، چهار یا گاه شش دیواره از پدهای عمودی اشباعی که درون قاب‌های نگهدارنده قرار دارند احاطه می‌شوند. اغلب کولرها در هر سمت جانبی خود، حداکثر تا چهار عدد پد دارند. قسمت بالایی، تشت، دیواره‌های جانبی و قاب‌های نگهدارنده پد کاملاً دارای اندازه‌های منطبق با هم بوده در نتیجه در حین عبور از پدها نشت هوای اندکی وجود دارد.



شکل ۱- کولر فن پنجره‌ای با نام تجاری Arvyn. در پشت دهانه ورودی بزرگی که دارای تیغه‌های جهت‌دهنده قابل تنظیم است، یک فن موتوردار محوری قرار دارد. این کولرهای ارزان و کوچک، که بدون کانال نصب می‌شوند، با مصرف توان کم می‌توانند هوای شسته شده زیادی را تحویل دهند. برخی از آن‌ها پر سر و صدا هستند. بسیاری از آن‌ها بدون پمپ بوده و با آب تازه غیر گردشی کار می‌کنند.

اغلب کولرهای آبی هوای شسته شده را به صورت افقی از خروجی فن به سمت جلوی خود تحویل داده که به آن‌ها "کولرهای با خروجی جانبی" گویند. البته بسیاری از کولرهای کوچک که برای نصب در بالای خودروی تفریحی، کامیون، تراکتور، و خانه‌های تریلری مورد نظر بوده و برخی از کولرهای بزرگی که بر بام منازل و ساختمان‌های تجاری نصب می‌شوند، هوا را مستقیماً به پایین تحویل

می‌دهند. در حالت اول فن کولر از نوع محوری بوده و در حالت دوم به صورت دمنده است(به شکل ۲ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۲- یک کولر کوچک فروباد(با جریان رو به پایین)^۱ برای خانه‌های متحرک و خودروهای تفریحی. این کولر بر بام آن‌ها مستقر شده و از طریق دریچه‌های سقفی مستقیماً هوا را می‌دمد. برخی از آن‌ها دارای فن محوری و برخی دارای دمنده‌های گریز از مرکز کم صداتر هستند.

امروزه کولرهای معمولی که دارای خروجی جانبی هستند و تمام کولرهای آبی بزرگ دارای دهانه‌های تقریباً مربعی برای خروج هوا هستند. در صورت نصب در پنجره، این کولرها موجب ایجاد مانع در برابر نور و چشم انداز می‌شوند. در نتیجه در بسیاری از مدل‌های پنجره‌ای از خروجی‌های کوتاه و پهن در بالای کولر استفاده می‌شود. در این حالت کولر اغلب در زیر سطح پنجره نصب شده و تنها سطح اندکی از شیشه را مسدود می‌کند. درختچه‌های بلند زیر پنجره‌ها می‌توانند کولر را به خوبی بپوشانند. در نماهای جنوبی و غربی، این امر با ایجاد سایه موجب بهبود کارایی می‌شود(به شکل ۳ فصل ۶ مراجعه کنید).

در اغلب کولرهای با جریان رو به پایین، به جای سه وجه، در چهار وجه پد وجود داشته و در نتیجه سطح بیشتری را پوشانده و سرعت هوا در آن‌ها پایین‌تر است و در نتیجه مدت تماس هوا-آب بیشتر

بوده که موجب سرمایه‌ش بهتر و ارزان‌تر می‌شود. به علاوه این کولرها هزینه کمتری داشته، مقاومت در برابر جریان و جذب گرمای خورشیدی توسط زانویی کانال در آن‌ها کمتر بوده و نصب آن‌ها در سقف موجب عدم مسدودسازی پنجره‌ها می‌شود. کولرهای گرد و شش ضلعی که ذکر آن‌ها رفت لزوماً دارای جریان رو به پایین هستند هر چند برخی کولرهای شش وجهی قدیمی‌تر ساخت ایالات متحده دارای خروجی افقی بودند (به شکل ۴ این فصل مراجعه کنید).

فن و موتور

فن‌های محوری در کولرهای کوچک بهتر عمل کرده و تا 2000 cfm ($56/6 \text{ m}^3/\text{min}$) هوای شسته شده را تحویل می‌دهند. آن‌ها برای نصب در پنجره و بدون استفاده از کانال طراحی شده و معمولاً یک یا احتمالاً دو اتاق با اندازه عادی را خنک می‌کنند. این فن‌ها مستقیماً روی شفت موتور نصب شده و معمولاً دارای دو تا چهار پره پهن آلومینیمی یا پلاستیکی بوده و با دور 900 تا 1400 rpm می‌گردند. در مقایسه با فن‌های گریز از مرکز، به ازای توان یکسان، فن‌های محوری تقریباً دو برابر بیشتر هوا تحویل می‌دهند ولی در صورت وجود مقاومت بالا در برابر جریان این گونه نبوده در نتیجه در سیستم‌های کانال‌دار چندان استفاده نمی‌شوند.

این فن‌ها، به خصوص در سرعت‌های بالا یا در هنگامی که گام پره^۱ زیاده از حد است، پر سر و صداتر هستند. یک مرجع توصیه کرده که زاویه پره‌ها در صفحات دوران بهتر است بین 18° تا 23° باشد. خروجی بهینه در هنگامی حاصل می‌شود که لبه‌های انتهایی پره، از میان روزنه‌ای که فن در آن می‌چرخد، در حدود یک سوم به جلو امتداد داشته باشند. البته قرارگیری کامل فن در داخل بدنه کولر آن را کم صداتر می‌کند. بهتر است تمام روزنه‌ها هوا لغز^۲ شده یا دارای ورودی هوای با دهانه شیپوری باشند.

علیرغم این که برخی کولرهای از نوع دمنده دارای خروجی‌های در محدوده کولرهای فن‌دار هستند ولی اغلب آن‌ها بزرگتر هستند. دمنده‌های آن‌ها اغلب توسط تسمه V شکل در یا کمتر از یک سوم سرعت موتور کار کرده و معمولاً فشار استاتیک کافی برای پیشرانش هوای شسته شده از طریق سیستم کانال عادی تولید می‌کنند.

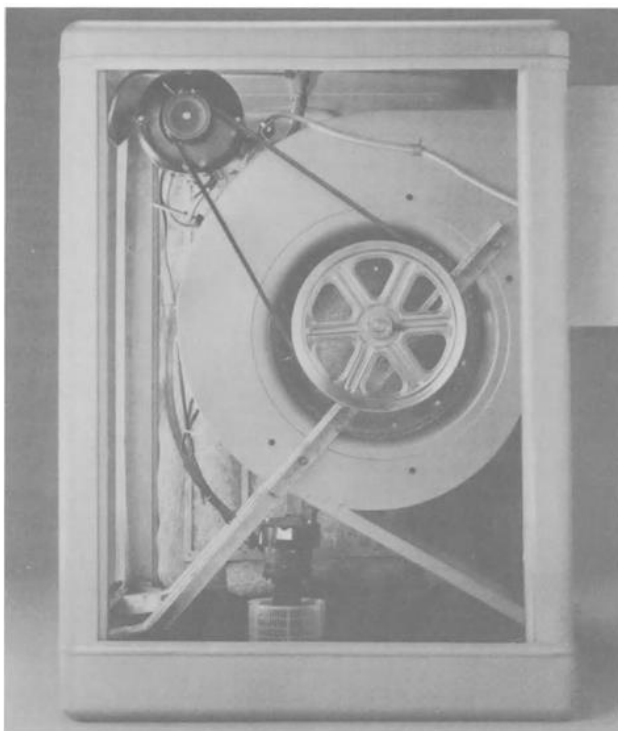
چرخ دمنده دارای پره با انحنای از نوع پیشرو^۳، با دو ورودی، است که به منظور کاهش سر و صدا و سایش یاتاقان در کارخانه بالانس می‌شود. به طور کلی، چرخ‌های بزرگتری که سرعت دورانی کمی

1- Blade pitch
2- Streamlined
3- Forward curved blade

دارند نسبت به چرخ‌های کوچکتر دارای سرعت دورانی بالا ترجیح داده می‌شوند. برای مثال چرخ‌های به قطر ۱۸ اینچ (۴۵/۷ cm) که در ۳۰۲ rpm می‌چرخد و چرخ دیگری به قطر ۱۲ اینچ (۳۰/۵ cm) که در ۵۸۰ rpm می‌چرخد هر دو ۳۲۰۰ cfm (۱/۵ m³/s) خروجی داشته ولی چرخ اول کم صدا تر بوده و یک چهارم چرخ دوم توان مصرف می‌کند.

به منظور اطمینان از سهولت ورود هوا به دمنده، دهانه‌های ورودی طرفین چرخ باید هوا لغز شده یا دارای ورودی هوای با دهانه شیپوری باشند و فاصله آن‌ها از دیواره‌های بدنه کولر یا پدها حداقل یک سوم قطر ورودی باشد (به شکل ۳ این فصل مراجعه کنید).

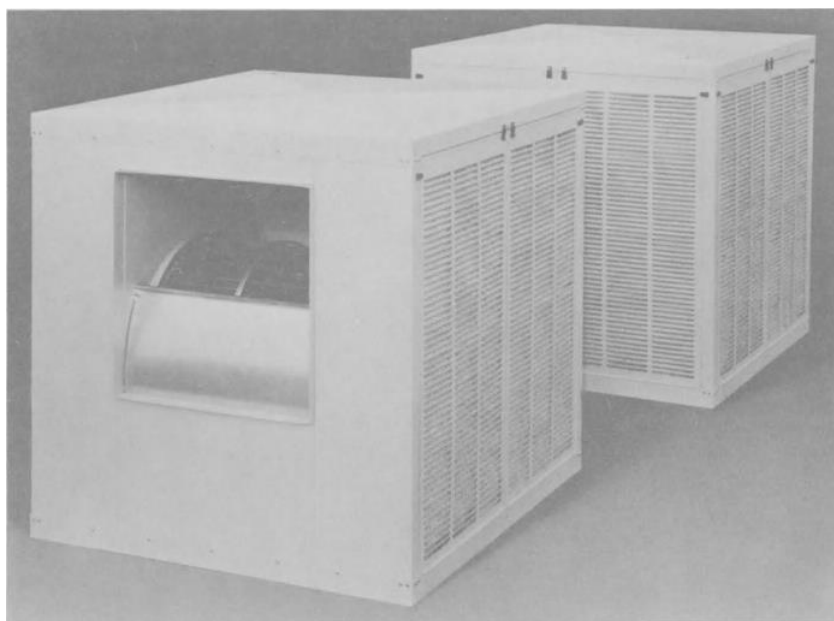
برخی کولرهای ۵ و ۷/۵ اسب بخار دارای دو دمنده با یک شفت مشترک هستند که دارای فاصله کافی از هم بوده تا هوا به سادگی از هر دو طرف هر دمنده وارد شده و کل آن‌ها از طریق تسمه توسط یک موتور به گردش در می‌آید.



شکل ۳- یک کولر آبی نوع پنجره‌ای (با نام تجاری Essick) که قاب نگهدارنده پد آن برداشته شده و دمنده گریز از مرکز، موتور، تسمه، و پمپ آب آن که، به منظور جلوگیری از ورود آشغال، درون سبد پلاستیکی قرار دارد، مشاهده می‌شود.

خروجی دمنده در بالا قرار داشته تا کولر حداقل سطح پنجره را اشغال کرده و درختچه‌های باغچه بتوانند بر روی کولر سایه ببندازند.

بدون در نظرگیری نوع فن، موتورها باید به منظور محدودسازی ارتعاش به صورت انعطاف‌پذیر نصب شوند. در اغلب کولرهای از نوع دمنده، پایه‌های نصب را می‌توان به صورت کشویی جابجا کرد تا بتوان تسمه را سفت کرد. بهتر است برای شفت موتور، به جای پولی‌هایی^۱ که به روش ریخته‌گری تحت فشار^۲ ساخته می‌شوند، از پولی‌های چدنی با قطر قابل تنظیم استفاده شود تا امکان ۳۰ درصد تغییر سرعت برای چرخ دمنده وجود داشته تا بتوان خروجی را بر حسب هوای شسته شده مورد نیاز یا مقاومت کانال تنظیم نمود. شفت دمنده نیز باید دارای پولی‌های بزرگ قطر ثابت چدنی یا ساخته شده به طریق ریخته‌گری تحت فشار باشد. استفاده از پولی‌های فولادی قالبی احتمال زنگ زدگی داشته و در اسرع وقت منجر به کاهش بالانس(توازن) و استحکام می‌شود.



شکل ۴- کولرهای آبی تجاری (با نام تجاری Arvin) با یک خروجی افقی (یا جانبی) برای استفاده عمومی و یک خروجی فروباد(یا کفی) برای استفاده در پشت بام. دارای دو قاب نگهدارنده پد در هر طرف، به منظور کسب بهترین بازدهی خیس شدگی و حداقل‌سازی نفوذ هوای خشک از بالا، پدها بلند و باریک هستند. در مقایسه با مدل‌های با خروجی جانبی، مدل‌های با خروجی فروباد ۳۳٪ مساحت پد بیشتر داشته و ظرفیت خروجی بالاتری نیز داشته و از نظر اقتصادی و عمر پد وضعیت بهتری دارند. در صورت نصب در پشت بام آن‌ها موجب صرفه جویی در هزینه کانال‌کشی و زانویی شده و

1- Sheave
2- Die-cast

مقاومت در برابر جریان و دریافت خورشیدی کمتری دارند. ساختار ساده پایه و قاب آن‌ها موجب تنظیم آن‌ها در بام‌های شیب دار می‌شود.

ظرفیت موتور

در کولرهای کوچک از نوع فن دار معمولاً از موتورهای قطب چاک‌دار^۱ استفاده می‌شود. موتورهای چهار قطبی از اندازه یک چهلیم تا یک پانزدهم اسب بخار برای فن‌های پروانه‌ای با قطر ۱۰ in (۲۵/۴) تا ۱۶ in (۴۰/۶ cm) مناسب هستند. موتورهای شش قطبی که در ۹۰۰ rpm کار می‌کنند کم صدا تر هستند.

موتورهای قابل قبول برای دمنده‌ها از نوع افقی با قاب باز^۲ مطابق با ویژگی‌های NEMA^۳ برای ساختار ضد آب هستند. موتور کولرهای آبی، اغلب از نوع انشقاق فاز^۴ با دور ۱۷۲۵ rpm است. بسیاری از آن‌ها دارای راه‌انداز (استارت) خازنی هستند. در توان‌های تا یک اسب بخار اغلب دارای سیم پیچ دو سرعته بوده که موجب تحویل دو ظرفیت از هوای شسته شده و برخی از آن‌ها نیز سه سرعته هستند. بسیاری از آن‌ها دارای محافظ اضافه بار هستند. تمام آن‌ها قادر به تحمل افزایش دمای مجاز ۵۰ C بوده و ضریب کارکرد (سرویس) (ضریب اضافه بار مجاز) آن‌ها ۱/۰۰ است که به میزان زیادی از طریق خنک سازی هوای موتورهای درون کولر تامین می‌شود.

در اندازه‌های تجاری از یک تا ۷/۵ اسب اغلب موتورها تک فاز هستند اما موتورهای بزرگ‌تر معمولاً سه فاز هستند. اغلب موتورهای با کاربرد عمومی تک فاز قادر به تحمل افزایش دمای مجاز ۴۰ C بوده و ضریب کارکرد (سرویس) آن‌ها در بزرگ‌ترین حالت ۱/۲۵ است.

در تمام کولرهای تبخیری (آبی) چه با فن پروانه‌ای و چه از نوع دمنده، از آن جا که موتور در یک محیط خنک و در حال حرکت کار می‌کند ممکن است دچار اضافه بار شود. بسته به موقعیت موتور نسبت به جریان هوا، برخی از آن‌ها ممکن است بدون افزایش دمای ۵۰ C یا افت سرعت قابل ملاحظه تا ۴۰٪ دچار اضافه بار شوند. البته این اضافه بارها به پیوستگی سرمایش تبخیری ربط دارد. هر گونه نقصان آب یا خشکی پدهای کولر می‌تواند موتور را به خطر بیندازد. در اغلب حالات، در طی بارگذاری، ضرایب کارکرد متوسط ۲۰٪ بیش از مقدار اسمی خود هستند. بالا بردن دور فن موتور را در معرض اضافه بار شدیدی قرار می‌دهد. عاقلانه این است که از موتور بزرگ‌تری استفاده شود. بازرسی شدت جریان موتور توسط یک آمپر متر یک سیاست مناسب در ایمنی است.

1- Shaded-pole motor: نوعی موتور جریان متناوب تک فاز- مترجم

2- Horizontal open-frame type

3- National Electric Manufacturers Association

4- Split phase type

برخی کولرهای کوچک دارای فن گریز از مرکزی هستند که مستقیماً به موتور وصل است. این فن‌ها یا در حالت موتورهای دو محوره دارای چرخ دوقلو بوده یا برای هر چرخ از یک موتور استفاده می‌شود. در هر دو طرح، تسمه، پولی، یاتاقان‌ها، سر و صدا، سایش و تعمیر و نگهداری مربوط حذف شده ولی لازم است که سرعت موتور پایین‌تر بوده و هزینه افزایش می‌یابد. برای افزایش فشار استاتیک یا خروجی به منظور غلبه بر مقاومت کانال، این کولرها امکان تنظیم تسمه از نظر سرعت را ندارند.

از آن جا که اغلب کولرهای آبی در جایی نصب می‌شوند که دسترسی آسان بدان وجود ندارد، یاتاقان‌های موتور و دمنده باید دارای ظرفیت دریافت کافی برای ماده روانکار(روغن) بوده تا تنها سالی یک بار روانکاری شوند. بسیاری از موتورهای کمتر از یک اسب بخار برای طول عمر خود روغن دارند. هنگامی که سر و صدا عامل مهمی است، یاتاقان‌های لغزشی نسبت به بلبرینگ‌ها کم صدا تر هستند.

قاب‌های نگهدارنده پد

مکش هوای بیرون از میان پدهای متخلخل تنها موجب تماس مختصری بین هوا و آب می‌شود. در نتیجه ضریب تاثیر کولر به قابلیت جنس ماده پد در حداکثر تبخیر آب به داخل هوا در طی کسری از ثانیه بستگی دارد. برای تجدید آب بر روی تمام الیاف پد، به همان سرعتی که تبخیر در هوای خشک و متحرک صورت می‌گیرد، لازم است که قابلیت خیس شدن بالا باشد.

در کولرهای اولیه، اغلب پد مستقیماً درون دیواره‌های بدنه کولر جای داده می‌شد. این دیواره‌ها یا به صورت کرک‌های بود یا در انواع ارزان‌تر از توری مرغی یا توری فلزی ساخته می‌شد. در هر دو حالت، دیواره‌های عقبی و جانبی با هم شکل داده شده و از پدهای واحدی که خمیده می‌شدند استفاده می‌گشت.

پدها معمولاً یک تا ۲ اینچ (۲/۵ تا ۵/۱ cm) ضخامت داشته و از پوشال^۱ یا دیگر تراشه‌های چوبی تشکیل می‌شد که درون پارچه نظیف مانند^۲ جای داده شده و توسط یک توری فلزی محافظت می‌شد. کنترل ضخامت و چگالی پدها به ندرت صورت می‌گرفت و تعویض آن نیز دشوار بود. به علاوه، علیرغم گالوانیزه کردن، اغلب کولرهای از این نوع در هنگامی که دیواره‌های تقریباً غیر قابل تعویض آن زنگ می‌زد دیگر قابل تعمیر نبودند.

1- Aspen

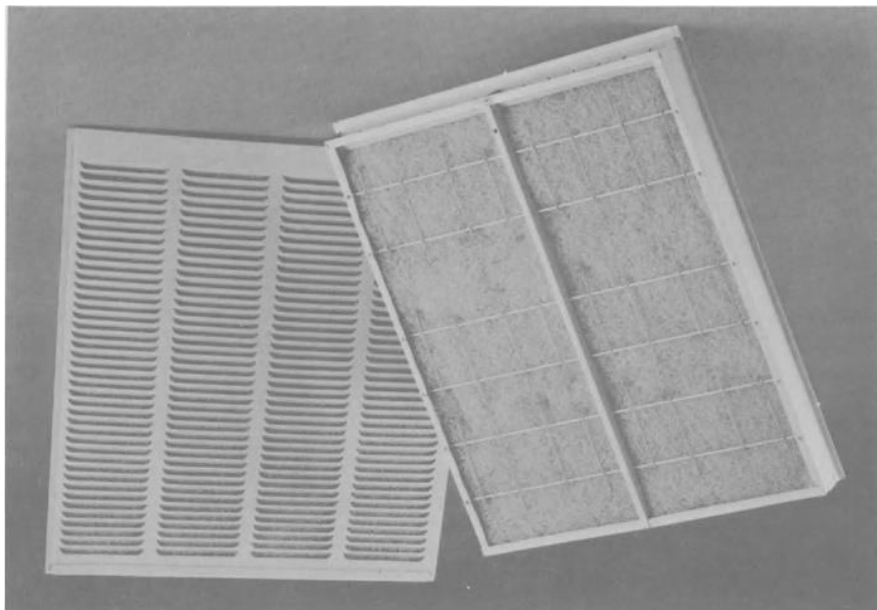
2- Cheesecloth

امروزه تقریباً پد تمام کولرها درون یک قاب نگهدارنده پد قرار دارد که به آسانی برداشته و تعویض می‌شود. پدها معمولاً به دقت درون فرورفتگی‌های تعبیه شده در چارچوب کولر جای داده می‌شوند تا میزان نشتی هوایی که موجب رقیق شده هوای شسته شده داخلی می‌شود را به حداقل برسانند.

اغلب این قاب‌های نگهدارنده دارای پانل بیرونی کرکره‌ای بوده که لبه‌های آن به داخل خم شده‌است. از شبکه‌های سیمی استفاده می‌شود که معمولاً دارای چنگک‌هایی هستند تا مانع از نشست ماده درون پد شده که معمولاً این چنگک‌ها در بین لبه‌های کرکره گیر داده می‌شود. بدین ترتیب فضایی به ضخامت ۲ اینچ (۵/۱ cm) برای ماده پد ایجاد می‌شود. لبه‌های بالایی کرکره، ناودانی توزیع کننده آب را تشکیل داده که در هر یک تا سه اینچ (۲/۵ تا ۷/۶ cm) دارای سوراخ‌هایی است تا آب از آن‌ها به روی پدهای زیرین بچکد. لوله‌های سوراخ‌داری که این وظیفه را در طرح‌های قبلی بر عهده داشتند به سادگی دچار گرفتگی شده و در نتیجه کارایی آن‌ها در بخش بزرگی زائل می‌شد (به شکل ۵ این فصل مراجعه کنید).

این قاب‌های نگهدارنده پد موجب سهولت تعویض پد شده و در نتیجه عمر مفید کولر افزایش می‌یابد. از آن‌ها به عنوان درب‌های دسترسی به کولر نیز استفاده می‌شود تا موجب سهولت در بازرسی، تمیزکاری، روانکاری، نقاشی، تنظیم تسمه و تعمیر شود. البته به منظور اطمینان از نصب بدون نشتی،

لازم است قاب کولر صلب بوده و بهتر است به جای پیچ کردن از طریق جوشکاری یا نقطه جوش به هم متصل شود.



شکل ۵- قاب‌های نگهدارنده جلو و عقب کولر (با نام تجاری Arvin). سمت چپ: کرکره‌های فلزی قالب زنی شده دارای زاویه رو به پایین موجب ورود هوا و حفظ آب در حال چکه بر روی پد پوشالی می‌شود. سمت راست: پد حدود ۲ اینچ (۵/۱) ضخامت داشته و توسط یک شبکه (توری) سیمی که دارای چنگک‌هایی، به منظور جلوگیری از تاب برداشتن، است، در جای خود نگه داشته می‌شود. ناودانی‌های مثلثی بالای پدها، آب را از طریق روزنه‌هایی به روی پدها تغذیه می‌کنند.

یک کولر زیبایی با مقطع کوتاه که در پشت بام نصب می‌شود دارای پدهایی است که درون غلاف‌های عمودی است که در داخل بخش کرکره‌ای کولر قرار گرفته و آن را در برابر خوردگی ناشی از آب محافظت می‌کند. این غلاف‌ها در گوشه‌های کولر به هم می‌رسند تا سطح جریان هوا را حداکثر ساخته و ترک‌هایی که موجب نفوذ هوا می‌شود را نیز حداقل سازند. وقتی بالای کولر برداشته می‌شود، هر یک از پدها را می‌توان به بالا لغزانده و تعویض نمود.

جنس مواد پد

ضریب تاثیر کولر آبی عمدتاً تابع پدهایی است که بیشترین مساحت خیس و تمیز را توام با حداقل مقاومت در برابر جریان هوا تامین می‌کنند. این امر مستلزم موادی است که دارای خاصیت "فتیلمی"

خوبی بوده یا دارای سطوحی هستند که آب را از طریق عمل موینگی سریعاً پخش کرده تا هوا به سادگی از میان آن عبور کند.

سازندگان مواد زیادی را برای پد امتحان کرده‌اند مثل پارچه؛ تراشه‌های کاج، صنوبر، چوب پنبه، سدر، درخت ماموت^۱، اشنگ^۲، کاج نوئل و دیگر انواع چوب؛ الیاف ساده و روکش دار شیشه؛ مس، برنز و توری‌های گالوانیزه، ورمیکولیت، پرلیت؛ کاغذ بسط داده شده و پلاستیک بافته شده. حتی تراشه‌های چوبی که با سیمان پوشیده شده بودند مورد امتحان قرار گرفت. در فصل ۱۲ موادی که امروزه ایده‌آل محسوب می‌شوند را تشریح کرده، هر چند که این مواد برای کولرهای آبی حجیم و گران قیمت هستند.

از آنجا که کولرهای آبی دارای جریان آب محدودی هستند، پد آن‌ها مستلزم موینگی بالایی است تا از نفوذ یکنواخت آب در حداکثر سطوح اطمینان حاصل شود. در عمل تمام سازندگان از پوشال درختان جوان اشنگ استفاده می‌کنند که در ارتفاعات بالای ایالت یوتا می‌رویند (مترجم: جنس پوشال در ایران معمولاً از درختان سپیدار، بید و صنوبر است). در ارتفاعات کم‌تر از ۱۰،۰۰۰ فوت (۳۰۴۸ متر)، درختان اشنگ در معرض قارچ زدگی بوده که موجب قهوه‌ای شدن رنگ و کاهش کیفیت آن می‌شود. نوع خوب پوشال سفید بوده و رشته‌های بلندی دارد که بر طبق مشخصات فدرال PPP-E-911 رشته‌های با عرض و ضخامت ۰/۰۱ تا ۰/۱۰ اینچ (۰/۲۵ تا ۲/۵ میلی‌متر) و طول حداقل یک اینچ (۲۵/۴ میلی‌متر) را شامل می‌شود.

در نمونه‌های خشکی که توسط مولف مورد آزمون قرار گرفتند، هر پوند نمونه حدود ۹۲ فوت مربع ($11/8 \text{ m}^2/\text{kg}$) سطح خیس را ایجاد می‌کرد. از آن جا که رطوبت هوا بر چگالی چوب تاثیر دارد، مقدار فوق تقریبی است.

پوشال، بدون بو و از نظر شیمیایی خنثی بوده و قابلیت جذب و خیس شدن دارد؛ آب، تنها در اثر موینگی، آزادانه بر سطح پوشال پخش می‌شود. در تحت آزمون، این پوشال هوا را تا دمای پایین‌تری نسبت به مواد رقیب خنک می‌کند ولی عمر مفید آن در حدود یک سال بوده و در این مدت دچار تغییر شکل، گرفتگی و زوال تدریجی می‌شود.

همچنین، به دلیل فنریت، مخلوط‌های ناسازگاری که دارای رشته‌های خمیده با طول مختلف هستند را نمی‌توان به سادگی به صورت پد قالبی یکنواخت در آورد. هر چند در هیچ دو پدی، یا حتی در طول مساحت یک پد، ضخامت، توان خیس شدگی، جریان هوا یا ظرفیت سرمایش مساوی نیست ولی سازندگان دقیق، پدهای کولری را تولید می‌کنند که تغییرات اندکی داشته باشند. پس از آن،

کهنگی پد و تعویض آن توسط مالک یا سرویسکار موجب تغییرات بیشتری در عملکرد می‌شود. علیرغم پایین بودن قیمت و هزینه‌های کارکرد، این عامل، به همراه تغییرات روزانه طبیعی افت دمای مرطوب بیرون، به شدت مانع از رقابت کولرهای آبی با کولرهای برودتی می‌شود.

بسیاری از فروشندگان، سرویسکاران و کاربران، پدهای پوشالی را با پدهای سلولزی تعویض می‌کنند. این پدها از یک کاغذ بافته چند لایه به ضخامت ۲ اینچ (۵/۱ cm) تشکیل شده که در ۹ اندازه استاندارد موجود بوده و همچنین، جهت سهولت برش در اندازه‌های دیگر به صورت رول شده نیز وجود دارند. در مقایسه با پدهای پوشالی، این پدها در برابر قارچ، گرفتگی و نشست عملکرد بهتری داشته و موجب گرفتگی پمپ یا جریان آب نشده و نصب آن‌ها بسیار راحت‌تر است. میزان خنک‌کنندگی آن به خوبی پوشال نو نیست ولی اگر دائماً خیس نگه داشته نشود، چندان سریع تخریب نشده و حداقل دو سال عمر می‌کند. به دلیل قیمت بالاتر، سازندگان زیادی از این نوع پد استفاده نمی‌کنند. البته به دلیلی انعطاف‌پذیری و استحکام، در کولرهای گردی که در بالای پشت بام نصب می‌شوند از پدهای سلولزی استفاده می‌شود.

سیستم توزیع آب

اساساً دو نوع سیستم توزیع آب وجود دارد: نوع بدون پمپ و غیر گردشی و نوع پمپ‌دار و گردشی. نوع اول ساده‌تر و ارزان‌تر بوده اما به آب بیشتر و مجرای تخلیه آب نیاز دارد. نوع دوم خنک‌کنندگی بهتری داشته و آب کمتری مصرف کرده و تخلیه آب آن به صورت متناوب است ولی از نظر عمر پد باید به صورت متناوب شسته شده یا دارای تخلیه آب اندکی باشد.

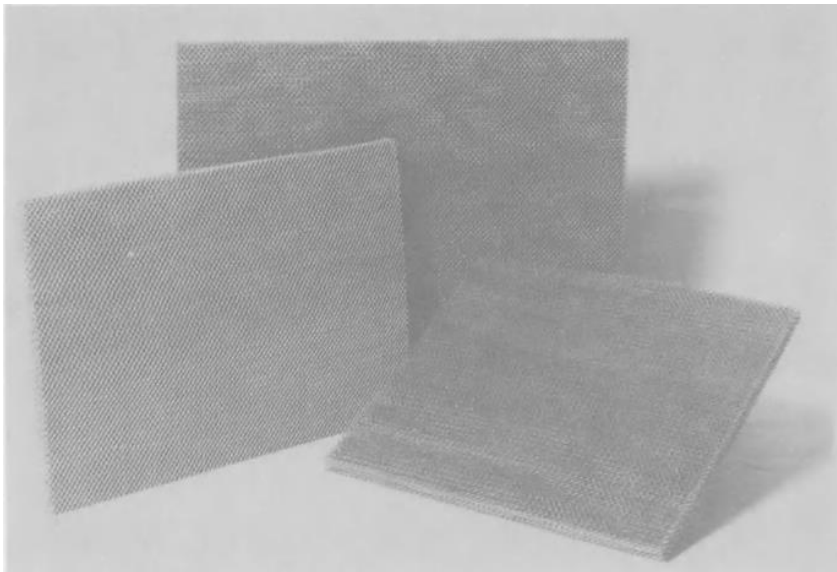
کولرهای غیر گردشی معمولاً کوچک بوده و اصولاً در پنجره نصب می‌شود تا آب تخلیه شده آن صرف آبیاری گیاهان شود. در این کولرها آب شهری تازه از طریق شیر دستی سوزنی، در مجاور خروجی هوا وارد می‌شود. هزینه آب موجب شده که، علیرغم قیمت و مصرف برق کمتر و عمر طولانی‌تر پد، اغلب کولرهای بدون پمپ از بازار خارج شود. کولرهای پمپ‌دار، به ویژه در اندازه‌های یک چهارم اسب یا بالاتر، در بازار سلطه دارند.

چه آب پمپ شود و چه نشود، علیرغم ناترازی کولر و وجود خرده آشغال، تحویل یکنواخت آب به پدها حیاتی است. بسیاری از کولرها، باری به هر جهت نصب شده یا شیب‌دار نصب شده یا نشست کرده‌اند و همچنین برخی موارد می‌تواند موجب انسداد یا عدم توازن در تحویل آب شود.

در اغلب کولرها، ابتدا آب به سیستم توزیع مرکزی در بالای کولر رفته تا با استفاده از اصول فشار یا سرعت به صورت جریان‌های تقریباً مساوی بین لوله‌های تغذیه کننده هر پد تقسیم شود. این لوله‌ها

زیر صفحه فوقانی کولر قرار گرفته و دارای طول تقریباً مساوی هستند که تاثیر کمی بر جریان دارند. اندکی شیب در نصب کولر تاثیر زیادی بر جریان بالای پد نداشته ولی طبعاً بر روی جریان درون پد موثر است. اغلب، بخشی از قاب نگهدارنده پد، به صورت ناودانی است که از طریق شیار V شکل، آب را بر بالای پد جریان می‌دهد. فواصل شیارهای آبریز فوقانی بین یک تا سه اینچ (۲/۵ تا ۷/۶ سانتی‌متر) از هم است. در طی رسوب شدید این شیارها در برابر گرفتگی مقاوم هستند. وقتی یک شیار مسدود می‌شود سطح آب آنقدر بالا می‌رود تا مجدداً جریان یابد. البته شیارهای V شکل موجب تقویت تاثیر کج شدگی بر توزیع آب هستند.

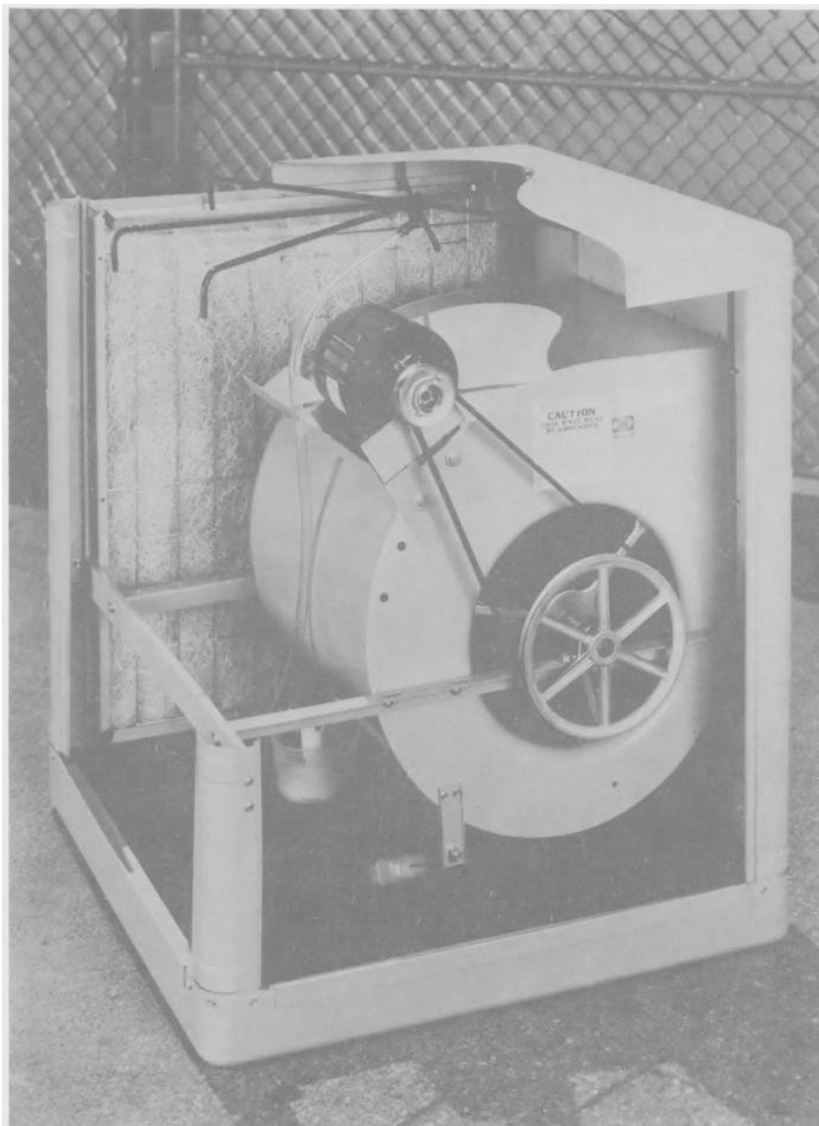
وقتی قاب نگهدارنده پد بلند و باریک است (همچون اکثر کولرهای بزرگ دارای دو یا چند وجه و همچنین کولرهای شش وجهی که در گذشته در ایالات متحده تولید می‌شد)، یک کج شدگی جزئی موجب نقصان توزیع از طریق شیارها می‌شود. البته اگر به منظور نمای ساختمان، کولرها کوتاه و کم ارتفاع هستند، ناودانی‌ها طویل بوده و اندکی کجی موجب افزایش زیاد جریان در یک انتها می‌شود. در نتیجه بسیاری از کولرها، در فواصلی از طول ناودانی، دارای آب بندهایی هستند که به صورت جداگانه توسط لوله‌ها تغذیه شده و در نتیجه موجب کاهش قابل ملاحظه این اثر می‌شوند (به شکل ۷ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۶- پدهای سلولزی بافته چند لایه (با نام تجاری Coolpad). این پدهای تقویت شده با پلی استر به صورت شیمیایی در برابر قارچ مقاوم شده و به دو صورت با ابعاد آماده و رول شده (جهت برش در اندازه مورد نظر) موجود هستند. ضخامت آن‌ها ۲ اینچ (۵/۱ cm) بوده و در مقایسه با پد پوشالی عملکرد یکنواخت‌تری را داشته، در برابر گرفتگی و تاب برداشتن مقاوم بوده و اگر متناوباً بگذارند که خشک شود تا دو سال عمر می‌کند.

آب از شیارها بر روی الیاف پد بالایی چکیده و در نتیجه جاذبه و موینگی موجب توزیع بیشتر و البته غیر کامل آن می‌شود. در حالی که اندازه شیارها مانع از گرفتگی می‌شود ولی فاصله آن‌ها از یکدیگر نامرتب است. چکه‌های رو به پایین، از هر شیار به صورت جانبی و تنها از طریق جریان موینگی در طول الیاف افقی پوشال گسترش می‌یابند. ممکن است آب، پیش از خیس کردن رشته‌ها، چند اینچ در داخل پد پایین برود، در نتیجه اجازه می‌دهد که جریان قابل ملاحظه‌ای از هوای نسبتاً داغ برقرار شود. به منظور خنثی کردن این کنش، برخی از پدها تا مقداری به بالای شیار امتداد می‌یابند تا قبل از برخورد هوا با آب تماس پیدا کنند. البته خیس شدگی به صورت حاشیه‌ای بوده ولی ممکن است سطوح پایینی پد به صورت یکنواخت خیس شوند. آب تبخیر نشده از طریق پدها به پایین چکه کرده و به منظور تخلیه یا گردش مجدد در تشت کولر جمع می‌شود.

کولرهای پمپ دار، به جز خروجی‌های جریان سر ریز و تخلیه دستی، در تشت خود، دارای جریان بسته هستند. آب تازه‌ای که از طریق شیر شناور وارد می‌شود معمولاً برای ایجاد عمق آب ۲ تا ۴ اینچ (۵/۱ تا ۱۰/۲ سانتی‌متر)، یا مقدار بیشتر در کولرهای بزرگتر، در تشت تنظیم می‌شود.



شکل ۷- یک کولر با نام تجاری Williams که به منظور نمایش جزئیات برش داده شده است. به منظور تغییر حجم یا فشار خروجی دمنده، موتور دارای پولی محرک با قطر قابل تنظیم است و جهت تنظیم تسمه دارای یک پایه لولایی است. شیر شناور ورودی آب تازه به تشت، در زیر فن قرار دارد. آب از پمپ، که در پشت شناور قرار دارد، از طریق لوله‌های مستقیم به یک وسیله توزیع کننده منتقل می‌شود که در بالا و وسط کولر قرار داشته تا از طریق شش لوله پلاستیکی سیاه (دو لوله برای هر قاب نگهدارنده پد) به صورت مساوی تقسیم شود. به منظور اطمینان از توزیع یکنواخت جریان در پدها، در هنگام ناترازی جزئی کولر، در هر ناودانی یک آب‌بند وجود دارد.

پمپ گردش آب

برخی کولرهای قدیمی دارای پمپ‌هایی بودند که توسط تسمه یا شفت انعطاف‌پذیر، از طریق موتور فن کار می‌کردند اما در حال حاضر پمپ‌های برقی مجزا، که به صورت استاندارد نصب می‌شوند، به کولرها امکان می‌دهند که در حالی که پدها خشک هستند به صورت یک هوارسان کار کنند.

اغلب پمپ‌های کولر دارای شفت عمودی و از نوع گریز از مرکز کف‌کش هستند که اجزای پمپ پلاستیکی یا برنجی در داخل آب فرو رفته در حالی که موتور برقی هوا-خنک آن در بالا و درون هوای شسته شده قرار داشته و دارای کلاهکی به منظور جلوگیری از پاشش احتمالی آب است. دریچه‌های مکش، درون آب قرار داشته در نتیجه تخلیه از پمپ به سادگی صورت گرفته و به ندرت در اثر یخ زدگی کولر در زمستان آسیب می‌بیند. بسته به نحوه نگهداری و استفاده، این پمپ‌های ارزان قیمت می‌توانند دو تا چهار سال عمر کنند (به شکل ۸ این فصل مراجعه کنید).

اکثر پمپ‌ها مستلزم روانکاری سالانه هستند، اما برخی مدل‌های با کیفیت آن‌ها دارای موتورهای آب‌بندی شده بسته با روانکاری دائمی و با پوسته ریختگی از جنس روی هستند. این پمپ‌ها حداقل به صورت جزئی غوطه‌ور (مستغرق) بوده، موتور آن‌ها اساساً توسط آب خنک می‌شود و برای کارکرد سنگین، به ویژه در مناطقی که آب آن دارای املاح و هوای آن پر غبار است، ترجیح دارند. آن‌ها معمولاً به نگهداری و تعمیر نیاز نداشته ولی در برابر یخ زدگی و کارکرد با آب ناکافی حساس هستند. این پمپ‌ها برای استفاده به عنوان پمپ اصلی کولر گران قیمت بوده و بیشتر به عنوان پمپ تعویضی یا در تاسیسات مهندسی و سفارشی استفاده می‌شوند.

پمپ‌های عمودی معمولاً درون حصار یا توری پلاستیکی قرار دارد که اکثر خرده اشغال‌های شناور را فیلتر می‌کند. پمپ‌های غوطه‌ور را می‌توان به صورت مشابه محافظت کرد اما برخی از آن‌ها آب را صرفاً از نزدیک کف کولر دریافت می‌کنند تا در برابر خرده‌های پوشال و غیره، که در سطح آب شناور هستند، محافظت شوند. بدون در نظرگیری نوع، تمام پمپ‌های گردش آب کولر هد فشاری پایینی داشته و حجم نسبتاً کمی آب را تحویل می‌دهند. اندکی از پمپ‌ها 7 gpm ($26/5 \text{ l/min}$) یا توان بیش از $\frac{1}{3}$ اسب بخار را تحویل می‌دهند. اغلب پمپ‌ها بین $\frac{1}{10}$ تا یک $\frac{1}{3}$ اسب هستند. در کولرهای بزرگ، به جای یک پمپ معمولاً سازندگان دو پمپ نصب می‌کنند. هر پمپ نصف سطح پد را خیس می‌کند.

تنوع کولرها بیشتر از اندازه پمپ‌های آن است. در نتیجه یک پمپ یکسان می‌تواند در مدل‌های زیادی از کولر استفاده شود. برخی وسایل محدود کننده جریان اجازه می‌دهند که کاربر بتواند جریان را در

پمپ‌های با اندازه بزرگتر از نیاز کاهش دهد. در نتیجه نسبت آبی که به هر پد داده می‌شود یا حجم هوای تحویلی شدیداً قابل انعطاف است.

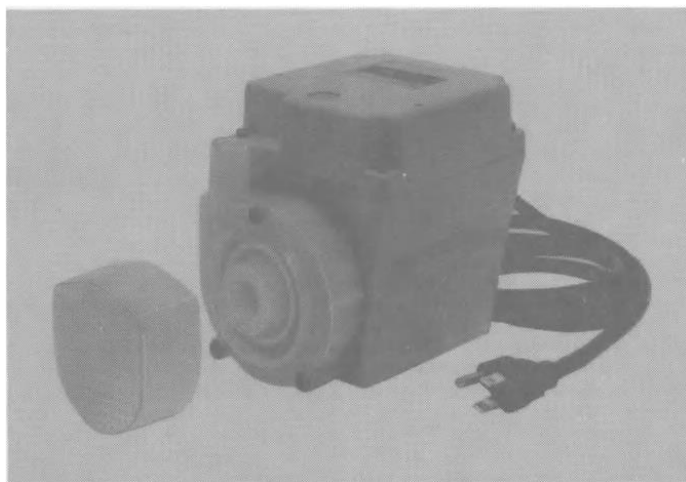
از آنجا که کولرهای پمپ دار دارای تخلیه بسته هستند، اغلب سازندگان پمپ‌هایی را استفاده می‌کنند که دارای خروجی‌های کوچکی علاوه بر مجرای تخلیه پمپ هستند. لوله‌کشی متصل به این پمپ‌ها به صورت پیوسته بخشی از آبی که توسط پمپ گردش می‌کند را تلف کرده و معمولاً آن را از طریق یک لوله ایستاده مربوط به جریان اضافی تخلیه می‌کند. عمل دورریزی^۱ موجب می‌شود که غلظت مواد معدنی و کثیفی در آب درون تشت کاهش یافته و وارد پمپ نشود (به فصل ۷ مراجعه کنید).



شکل ۸- پمپ عمودی کولر آبی با نام تجاری Beckett. در اندازه‌های $\frac{1}{4}$ تا یک $\frac{1}{2}$ اسب بخار که درون کولر در داخل یک سبد توری پلاستیکی با سوراخ‌های ریز قرار داشته تا مانع از ورود خرده‌های پوشال و آشغال شود. مدل‌های کوچکتر غالباً پلاستیکی و مدل‌های بزرگتر اغلب برنجی هستند. این پمپ‌گریز از مرکز نوع غوطه‌ور دارای ورودی از کف است. روتور هوا-خنک آن‌ها دارای کلاهکی برای حفاظت در برابر پاشش آب بوده و سیم پیچ آن برای محافظت در برابر خوردگی ناشی از هوا در داخل پلاستیک آب بندی می‌شود.

ضخامت و چگالی پد

در طراحی پد کولرهای آبی از روش‌های تجربی استفاده می‌شود. اغلب پدها از پد دست ساز غیرمتراکم در شکل و اندازه دلخواه، بر روی میزهای شیشه‌ای ساخته می‌شوند که از پایین آن نور تابانده می‌شود. تابش نور از پایین میزان چگالی پوشال را نشان داده که با جابجا کردن آن اصلاح می‌شود. معمولاً پدها تا ۲ اینچ (۵/۱ cm) بزرگتر از اندازه ساخته می‌شوند تا بتوانند لبه‌های خود را در درون قاب نگهدارنده پد آب‌بندی کنند.



شکل ۹- یک پمپ غوطه ور گردش آب با نام تجاری Little Giant. در اندازه‌های $\frac{1}{4}$ تا یک $\frac{1}{16}$ اسب که دارای موتور آب بندی شده با روغن دائمی است که جایگزین پمپ‌های پلاستیکی می‌شود. در نتیجه عمر آن‌ها طولانی‌تر از پمپ‌های عمودی هوا-خنکی است که کارکرد آن‌ها به صورت خشک موجب آسیب دیدگی آن‌ها می‌شود. به فیلتر پلاستیکی ورودی قابل تمیز شدن آن در سمت چپ توجه کنید.

نتایج کاملاً متفاوت هستند. به دلیل متغیر بودن طبیعی پوشال، پدها معمولاً از نظر ضخامت و چگالی بیش از ۳۰٪ تفاوت دارند. در قاب‌های جدید نگهدارنده فن، پدها یکنواخت‌تر هستند. در انواع قدیمی، چگالی و ضخامت بیشتر به بخت و اقبال بر می‌گشت.

ضخامت پد معمولاً ۲ اینچ (۵/۱ cm) است هر چند در برخی کولرهای فن‌دار، پدها می‌توانند جهت اطمینان از تحویل مناسب هوا، نازک‌تر باشند. از آنجا که چگالی معمولاً به صورت چشمی کنترل می‌شود، حتی در بهترین کولرها نیز تفاوت مشاهده می‌شود.

در گذشته مقدار ایده‌آل یک پوند در هر فوت مکعب پد ($16/0 \text{ kg/m}^3$) بود. یکی از سازندگان بزرگی که از پدهای با ضخامت ۲ اینچ (۵/۱ cm) استفاده می‌کند، دو چگالی زیر را به کار می‌برد: ۰/۲ پوند

بر فوت مربع ($0/98 \text{ kg/m}^2$) برای کولرهای نوع فن دار و $0/3$ پوند بر فوت مربع ($1/46 \text{ kg/m}^2$) برای کولرهای نوع دمنده دار. این چگالی‌ها به ترتیب در حدود $1/20$ تا $1/80$ پوند در فوت مکعب ($19/2$) تا $28/8 \text{ kg/m}^3$ هستند.

از آنجا که سطح خالص جریان هوا از میان پوشال تقریباً غیر قابل اندازه‌گیری است معمولاً محاسبات سرعت بر اساس مساحت رخ^۱، که همان مساحت ناخالص پیشانی پدها است، انجام می‌شود. در نتیجه، هوایی که با سرعت رخ 225 تا 240 fpm ($1/14$ تا $1/22 \text{ m/s}$) وارد پدهای فوقانی می‌شود، افت فشار استاتیک نسبی $0/10$ اینچ آب (25 Pa) را ایجاد می‌کند.

یک سازنده دیگر از پدهای با ضخامت $1 \frac{3}{4}$ اینچ ($4/4 \text{ cm}$) برای کولرهای فن دار و 2 اینچ ($5/1 \text{ cm}$) برای نوع دمنده دار استفاده کرده و رخ آن‌ها را از داخل و خارج توسط پارچه تنظیف با اندازه منفذ $10-14$ پوشانده که در هر دو حالت، چگالی آن $1/7$ پوند بر فوت مکعب ($27/2 \text{ kg/m}^3$) بود.

البته در اینجا چگالی بسیار وابسته به رطوبت هوا است. با توجه به نم گیر بودن، وزن خشک پوشال تقریباً هر ساعت متفاوت بوده و مانع از حصول دقت می‌شود. یکی از سازندگان بزرگ فعلی، چگالی پد را بین $0/25$ و $0/3$ پوند بر فوت مربع ($1/2$ و $1/5 \text{ kg/m}^2$) تعیین کرده‌است. این مقدار معادل $1/5$ و $1/8$ پوند بر فوت مکعب ($24/0$ و $28/8 \text{ kg/m}^3$) است.

به طور کلی، ضخامت و چگالی مکمل یکدیگر هستند. افزایش ضخامت موجب افزایش زمان تماس هوا-آب می‌شود. افزایش چگالی موجب کاهش نشستی هوای خشک از طریق پد می‌شود. هر دو مورد بازده اشباع را افزایش داده ولی جریان هوا را محدود می‌کنند. یک پد ایده‌آل موجب توازن ضخامت در برابر چگالی شده تا در درصد اشباع مورد نظر حداکثر هوا را عبور دهد.

البته اثر ضخامت دارای یک نرخ کاهشی است. وقتی هوا از یک پد عبور می‌کند، هر قطره از بخار جذب شده موجب افزایش فشار جزیبی بخار درون هوا شده و با کاهش اختلاف فشار موجب تبخیر بیشتر می‌شود. هر چه نفوذ تا دورتر صورت گیرد، دو فشار بخار بیشتر به هم نزدیک شده و انتقال جرم از آب به هوا کندتر می‌شود.

این کاهش ضریب تاثیر قابل اندازه‌گیری نبوده ولی احتمالاً تبخیر از سطوح مسطح طویل را تقریب می‌کند، در نتیجه تبخیر کل نه با ضخامت که با توان $0/77$ ضخامت متناسب است. بنابراین دو برابر کردن ضخامت پد تنها 67 درصد موجب بهبود سرمایه‌ش می‌شود. در نتیجه افزایش میزان ضخامت

پوشال پدها بیش از افزایش اثر خنک کنندگی موجب افزایش مقاومت در برابر جریان هوا و همچنین اندازه و قیمت تجهیزات می‌شود.

تاثیر چگالی کمتر درک شده‌است. مولف این کتاب، یک پد پوشالی به مساحت ۴ فوت مربع (m^2) (۰/۳۷) را در داخل یک قاب تلسکوپی مورد آزمون قرار داد تا ضخامت‌های ۴، ۵، ۶ و ۳ اینچ (۱۵/۲، ۱۲/۷، ۱۰/۲ و ۷/۶ سانتی‌متر) را به همراه افزایش چگالی به دست آورد. همان پوشال بدون اضافه و کم یا تغییر مورد استفاده قرار گرفت. رشته‌های این پوشال دارای پهنای تقریبی 0.043 in (۱/۰۹) و ضخامت تقریبی 0.133 in (۰/۳۴ mm) فرض شد و بسته به آب و هوا مساحت اولیه آن ۹۲ فوت مربع بر پوند ($18/84 \text{ m}^2/\text{kg}$) تخمین زده شد.

در حالی که چگالی پد با ضخامت واقعی رابطه معکوس دارد، فرض شد اثر سرماییش کلی مستقیماً با ضخامت یا "ضخامت معادل" تغییر می‌کند. در نتیجه "عملکرد خالص" بر حسب $(\text{kJ/hr})\text{Btu}$ یا سرماییش محسوس به ازای هر درجه افت دمای مرطوب بر حسب واحد معادل ضخامت، اندازه‌گیری شد.

با اندازه‌گیری توسط جریان‌های مختلفی از آب و هوا، پد تلسکوپی حداکثر اثر سرماییش به ازای هر اینچ معادل از ضخامت را در طی چگالی ۲/۰۵ پوند در فوت مکعب ($32/8 \text{ kg/m}^3$) ارائه داد. در رده دوم چگالی ۲/۷۳ پوند در فوت مکعب ($43/7 \text{ kg/m}^3$) قرار گرفت. این چگالی‌ها تنها بازتابنده اثر سرماییش بوده و از نظر اقتصادی چیزی را بیان نمی‌کردند. از هزینه فن و مصرف برق چشم‌پوشی شد. البته از آنجا که افزایش چگالی، از طریق فشرده‌سازی رشته‌های پوشال، به میزان نامعلوم کوچکی موجب کاهش مساحت خیس شده کل می‌شود، مقدار جریان آب لازم تا حدی افزایش می‌یابد.

در مطالعات دیگری که توسط Hollands در ۱۹۷۰، در ۱۹۷۱ توسط Hollands و Pott، در ۱۹۸۰ توسط Agrwal و Kachhara و در ۱۹۷۶ توسط Kadambi و Ravichandian بر روی دینامیک پد انجام شد نیز به معضلات چگالی اشاره شده‌است.

در اینجا، پدهایی به ضخامت 25 mm (0.98 in)، از علف هندی khus-khus، در سه محدوده چگالی و چندین نرخ جریان آب و هوا مورد آزمون قرار گرفتند. با ضخامتی که در پدهای پوشالی قابل حصول نبود و به دو برابر آن‌ها می‌رسید، محدوده چگالی از 100 تا 125 kg/m^3 ($6/24$) تا $6/24 \text{ lb/cu ft}$ (۷/۸۰) مورد آزمون قرار گرفت و نتایج بهتری به دست آمد. در این محدوده، بازده اشباع، سرماییش محسوس و اقتصاد مصرف فن تماماً حداکثر بود.

به طور خلاصه، اغلب داده‌های موجود پیشنهاد می‌کنند که پدهای پوشالی دارای چگالی 2 ($32/0 \text{ kg/m}^3$) یا اندکی کمتر بوده تا مصرف فن کمتر بوده و چگالی آن‌ها در بالا بیشتر بوده و

طول آن‌ها بیشتر از عرض آن‌ها باشد. رشته‌های یک پوشال اعلا باید ترجیحاً در راستای افقی باشند. به ازای یک چگالی معین، ضخامت را می‌توان طوری تنظیم کرد که بازده سرمایه‌ش مورد نظر یا ترجیحاً حداکثر اثر سرمایه‌ش به ازای هر کیلو وات ساعت توان مصرفی را به دست آورد.

سرعت هوا در پدها

سرعت هوا از بین رشته‌های پوشال اهمیت زیادی دارد. همانگونه که ذکر شد به صورت پیش فرض سرعت‌های پایین‌تری که در رخ کولر رخ می‌دهد معرف سرعت مزبور هستند.

اگر سرعت‌های داخلی خیلی کوچک هستند، لایه‌های هوای مرطوب موجب عایق‌سازی هوای خشک از سطوح مرطوب شده و موجب کاهش تبخیر می‌شوند. اگر این سرعت‌ها خیلی بزرگ باشند، زمان تماس هوا-آب ناکافی بوده و بسیاری از رشته‌های پوشال خشک باقی می‌مانند. سرعت‌های بینا بین موجب ایجاد تلاطم، کاهش اثرات لایه سیال و تسریع تبخیر بر اساس رابطه زیر می‌شوند:

$$\text{نرخ تبخیر} = K (A) (P_1 - P_2) (V)$$

به طوری که:

A = سطح مرطوب

$(P_1 - P_2)$ = اختلاف فشار بخار هوا و آب

V = سرعت هوای درون پد

K = مقدار ثابت

این معادله نشانگر محدوده‌های سرعت پایین بوده که کاملاً کمتر از چیزی است که زمان تماس آب-هوا را به صورت مخاطره‌آمیزی کاهش داده یا مانع از مویبندی الیاف پوشال و خیس شدن کامل رشته‌های آن می‌شود. بدین ترتیب، در سرعت رخ کمتر از 300 fpm ($1/5 \text{ m/s}$) با افزایش سرعت هوا سرمایه‌ش نیز بیشتر می‌شود در بالای این سرعت حرکت، دو برابر کردن سرعت می‌تواند بازده اشباع ۸۰ درصدی اولیه را به ۶۵ درصد کاهش دهد.

سرعت‌های رخ بالا موجب افزایش مقاومت بالاتر هوا شده و مستلزم جریان آب بالاتر برای خیس‌سازی یکنواخت می‌گردند. از آنجا که نرخ تبخیر می‌تواند از قدرت مویبندی برخی رشته‌های پوشال برای مرطوب‌سازی مجدد آن‌ها بیشتر شود، سرعت بالای درون پد موجب ایجاد نقاط خشک شده و در نتیجه هوای داغ جریان داشته و گرفتگی به سرعت ایجاد می‌شود. گرفتگی پد کاملاً به سرعت موضعی بستگی دارد. هر چه سرعت کلی پد پایین‌تر باشد، فرآیند گرفتگی کندتر و یکنواخت‌تر است.

در سال ۱۹۳۹، M.L. و P.M. Thornburg توصیه کردند که سرعت رخ کولر آبی در حدود ۲۵۰ (۱/۳ m/s) باشد و اغلب کولرهای امروزی داری سرعت رخ بین ۲۰۰ و ۳۰۰ fpm (۱/۰ و ۱/۰ m/s) هستند. اغلب سازندگان مقدار ۳۰۰ fpm را به عنوان حد عملی در نظر می‌گیرند زیرا سرعت‌های بزرگتر می‌توانند آب را از میان پد بپاشند که موجب خرابی فن، پولی، موتور و غیره شده و احتمالاً از طریق کانال، به داخل اتاق‌ها وارد می‌شود.

آزمایشات مولف نشان داده که سرعت‌های کم هوا می‌توانند بیشترین سرمایه‌های را با حداقل جریان آب ایجاد کنند. یک پد با چگالی بهینه، دارای سرعت رخ ۱۴۷ fpm (۴۴/۸۱ m/min) یا ۳۰/۵ پوند هوا در دقیقه بر فوت مکعب (۰/۳۹۲ kg/min/m³) پد است. در تمام کولرهای بزرگ با کیفیت با جریان فروباد، احتمالاً این سرعت بیشتر شده و با استفاده از دور فن پایین، گرفتگی و خرابی پد به تعویق افتاده و هزینه نگهداری و تعمیر کمتر می‌شود.

کولرهای کوچک‌تر و سبک‌تر قادر به ارائه این سرعت‌های رخ پایین نبوده و جمع و جوری و قیمت اولیه پایین آن به صورت عمده‌ای به بهره‌گیری از سرعت‌های جریان هوای بیش از ۲۰۰ fpm (۱/۰ m/s) بستگی دارد.

البته، تغییرات گسترده سرعت، اغلب در کولرهایی رخ می‌دهد که تعداد زیادی مدل از دو یا چند اندازه فن یا موتور تولید شده و با یک بدنه (کابینت) و مساحت پد، دو تا چهار ظرفیت کولر مختلف را ایجاد می‌کنند.

مجدداً ذکر می‌شود که سرعت بالا چهار نتیجه منفی دارد. نخست، گرفتگی سریع‌تر به دلیل عبور هوای بیشتر از هر پد و گیر افتادن گرد و خاک آن و تبخیر آب بیشتر؛ دوم نیاز به کار پمپ بیشتر جهت اطمینان از خیسی یکنواخت پد؛ سوم افت فشار استاتیک بیشتر و افزایش کار فن و در نهایت آب پاشیده شده می‌تواند مخرب باشد.

اغلب سازندگان، افت فشار از پدهای دو اینچی (۵/۱ cm) نو و تمیز را در حداکثر ۰/۱۰ اینچ آب (Pa) ۲۵/۰ ایجاد می‌کنند. در مقابل، پدهای با چگالی بهینه در سرعت بهینه تنها ۰/۰۲۸ in (۷/۰ Pa) افت فشار استاتیک دارند. تنها سازندگان می‌توانند قضاوت کنند که این صرفه جویی ارزش هزینه‌هایی که صرف آن‌ها شده را دارد یا خیر.

جریان آب در پدها

با توجه به تعدد اندازه‌های پمپ نسبت به مدل کولر، میزان جریان آب در پدها بسیار متغیر است. خیس سازی بیش از حد موجب اندکی افزایش هزینه پمپاژ شده ولی سرمایه‌های بهبود یافته و گرد و

خاک نیز به درون تشت کولر شسته شده و در نتیجه گرفتگی پدها به تعویق می‌افتد. خیس سازی غیر کافی هم موجب کاهش بازده اشباع شده و هم موجب تسریع گرفتگی می‌شود. همان گونه که ذکر شد، هر گاه الیاف پوشال سریع‌تر از نرخ خیس شدن مجدد خود تبخیر کنند، رسوبات تشکیل خواهد شد.

از آنجا که نرخ تبخیر به صورت معکوس با رطوبت هوای ورودی تغییر می‌کند، هر چند خروجی پمپ تقریباً ثابت است، ولی نیاز به تغییر میزان جریان آب به صورت گسترده‌ای با آب و هوا تغییر می‌کند. نرخ بهینه آب عبارت از حداقل جریانی است که در طی بیشترین میزان جریان هوا، موجب تضمین خیس شدن تمام رشته‌های پوشال در خشک‌ترین آب و هوا بشود. از آنجا که بازده اشباع تحت تاثیر طراحی، تنظیم و شرایط کولر است و نه آب و هوا، کولرهایی که بازده اشباع آن‌ها، در هوای داغ و خشک، افت می‌کند لزوماً دارای رشته‌های پوشالی هستند که خشک شده و نشانگر این است که میزان جریان آب آن‌ها ناکافی بوده یا به صورت مناسب توزیع نشده‌است. لوله‌های آب تنگ‌شده، ناودانی‌های کثیف یا پمپ‌هایی که پوشال ورودی آن را محدود کرده نیز عامل این قضیه هستند در غیر این صورت باید از پمپ بزرگ‌تری استفاده کرد.

شرایط تهویه مطبوع و نرخ جریان هر چه که باشد، در حالت کلی، پدهای باریک و بلند در مقایسه با انواع پهن نیاز نسبتاً کمتری به آب دارند. هر دو پد دارای دو اینچ (5/1 cm) ضخامت و دارای پوشال نوبی هستند که درون قاب‌های نگهدارنده قابل باز شدن قرار داشته و بدون هیچ پوشش توری یا مهارکننده‌ای بسته بندی شده‌اند. یکی از کولرها دارای سه پد معمولی با مجرای خروجی افقی به مساحت پد ۱۶/۴ فوت مربع (۱/۵۲ m²) و فن گریز از مرکز یک سوم اسب بخار است. کولر دیگر دارای شش وجه و با مجرای خروجی فروباد است که مساحت پدهای بلند آن ۷۳/۲ فوت مربع (۶/۸ m²) و توان دمنده آن ۲ hp است.

در طی یک آزمون جامع، کولر کوچک‌تر به وضوح دارای نسبت هوا-آب بهینه‌ای بین ۳۰ تا ۴۰ پوند(کیلوگرم) هوا به ازای هر پوند(کیلوگرم) آب است که به نظر مقدار ۴۰ بهتر است. این مقدار معادل ۴۶۷۰ فوت مکعب بر گالن (۳۴/۹ m³/l) یا ۰/۲۱۵ گالن در هر ۱۰۰۰ فوت مکعب (l/m³) ۰/۰۲۹ است.

کولر شش گوش دو اسب بخار ۱۲۰۰۰ cfm (۵/۶۶ m³/s) با شش پد عمودی نیز در حدود ۴۰ پوند(کیلوگرم) هوا به ازای هر پوند(کیلوگرم) آب یا ۰/۲۱۵ gpm در هر ۱۰۰۰ فوت مکعب (l/min) ۰/۰۲۹ به ازای هر m³/min بهترین وضعیت اقتصادی را دارد. بنا بر این، علیرغم تفاوت در اندازه و نوع، هر دو کولر نسبت هوا-آب بهینه مشابهی برای حداقل توان مصرفی دارند.

البته نرخ آب یک دستگاه کوچکتر بهینه‌تر 0.13 gpm در هر 1000 cfm بر فوت مربع ($\text{l/m}^3/\text{m}^2$) 0.1186 و در کولرهای بزرگتر با پد بلند و سرعت هوای کم‌تر 0.029 gpm در هر 1000 cfm بر فوت مربع ($\text{l/m}^3/\text{m}^2$) 0.041 بوده که 78 درصد کمتر است.

هر چه در آب و هوای عادی طی عملکرد اقتصادی وضعیت بهینه است ولی جریان آب هر دو کولر برای عملکرد کامل فن در آب و هوای خیلی داغ و خشک ناکافی است. در آن صورت بازده اشباع هر دو کولر کاهش یافته که به علت خیس شدگی ناکافی برخی مناطق پد است. در نتیجه، نرخ بهینه آب باید بر حسب حداکثر جریان هوای مورد نظر و حداقل رطوبت هوا تنظیم شود. محاسبه آن نیز بر حسب مکان و نصب به صورت زیر می‌تواند باشد.

برای مثال حداکثر دمای تابستانی محل برای dbt برابر 110 F ($43/3 \text{ C}$) و برای wbt برابر 61 F ($16/1$) فرض می‌شود. رطوبت ویژه 3 grains/lb (0.088 gr/kg) در واحد جرم هوای خشک است.

با سرمایش آدیاباتیکی در طی بازده اشباع مفروض 80 ٪، هوا حاوی 66 grains/lb (1.94 gr/kg) رطوبت می‌شود. در نتیجه باید 63 grains/lb (1.85 gr/kg) رطوبت توسط پدهای مرطوب اضافه شود. اگر مقدار هوای شسته شده 6000 cfm ($169/9 \text{ m}^3/\text{min}$) یا 442.3 lbs/min ($200/6$) فرض شود، مقدار تبخیر مورد نیاز عبارت است از:

$$\frac{(442.3 \text{ lbs/min})(63 \text{ grains/lb})}{(7000 \text{ grains/lb})(8.3 \frac{\text{lb}}{\text{gal}})} = 0.48 \text{ gpm}$$

یا

$$\frac{(200.6 \text{ kg/min})(1.85 \text{ grams/kg})}{(1000 \frac{\text{gr}}{\text{l}})} = 1.81 \text{ l/min}$$

در طی عملکرد بهینه کولر کوچک فوق، حدود $9/5 \text{ gal}$ آب پمپ شد تا تبخیر شود ($9/5 \text{ l/l}$). در کولر بزرگتر حدود $5/45 \text{ gal/gal}$ صرف تبخیر شد ($5/45 \text{ l/l}$). از آنجا که این نسبت‌ها در هوای خیلی داغ و خشک کاهش می‌یابد لذا مقدار میانگین دو مقدار فوق، یعنی $7/5 \text{ gal/gal}$ ($7/5 \text{ l/l}$) می‌تواند به خوبی معرف اغلب اندازه‌های کولر در طی آن محاسبات باشد. البته دورریز داخلی پمپ را نیز باید اضافه کرد: این مقدار معمولاً از خروجی پمپ جریان یافته و معرف نرخ معمول تبخیر است که حدود 66 درصد حداکثر نرخ فوق یا به صورت میانگین 0.32 gpm ($1/21 \text{ l/min}$) است.

بنابراین، ظرفیت مورد نیاز پمپ برای جلوگیری از هر گونه خشکی در آب و هوای داغ برای cfm $6000 (2/8 \text{ m}^3/\text{s})$ مفروض:

$$6/0 \text{ gpm} = (\text{سر ریز داخلی پمپ } 0/32 + \text{تبخیر شده } 0/48) (7/5 \text{ gal/gal})$$

یا

$$(7/5 \text{ l/l})(1/817 \text{ l/min} = 1/211 \text{ l/min}) = 22/71 \text{ l/min}$$

این جریان، $0/113 \text{ lbs}$ آب را به ازای هر پوند هوا ($0/113 \text{ kg/kg}$) تقریب می‌کند که به میزان زیادی بیش از مصرف معمول است. البته، این مقدار تمام گرد و خاک پدها را شسته، موجب تعویق تشکیل آهک بر روی آن‌ها شده، احتمالاً عمر پد را دو برابر کرده، اجازه ورود گرد و خاک بسیار کمتری را داده و در تمام آب و هواها، شامل بدترین شرایط، سرمایه‌ش بهینه را تامین می‌کند.

معایب آن اندکی افزایش سر و صدای چکه کردن آب در کولرهای بدون کانال و افزایش توان پمپ از $\frac{1}{3}$ به $\frac{1}{7}$ اسب بخار و مصرف احتمالاً ۱۰۰ وات به جای ۶۰ وات است. در سرعت‌های عادی هوا در پدها و با داشتن پوشال‌هایی که چندان گرفتگی ندارند، دور ریز آب نباید اتفاق بیافتد.

در طی سرعت‌های هوای مورد استفاده در کولرهای تجاری، ملاحظات اقتصادی بر طراحی محصول حاکم هستند. کولرهای آبی کالاهایی رقابتی و فصلی هستند در نتیجه نصب پمپ بزرگتر در آن‌ها، و کاهش سرعت در رخ پد می‌تواند موجب بروز مشکلاتی در بازار آن‌ها شده و سازندگان آن‌ها تمایلی به این مخاطره ندارند.

پرسش‌های دوره‌ای

۱. کولرهای آبی چگونه تماس بین آب و هوا را برقرار می‌کنند؟
۲. تمایز بین کولرهای فن‌دار و کولرهای دمنده‌دار چیست. کدام یک معمولاً بزرگتر است؟
۳. تمایز بین کولرهای با مجرای تخلیه فرو باد و کولرهای با مجرای خروجی جانبی چیست.
- مساحت پد کدام یک معمولاً بیشتر است؟ آیا این امتیاز محسوب می‌شود؟ چرا؟
۴. چه نوع فنی می‌تواند هوای بیشتری را به ازای هر اسب توان انتقال دهد؟ کدام نوع فن کم صداتر بوده و در برابر مقاومت کانال هوا را بهتر جریان می‌دهد؟
۵. مزایای فن‌های گریز از مرکز با موتور محرک مستقیم چیست؟ معایب آن چیست؟
۶. نحوه توزیع آب از قاب‌های نگهدارنده پد به پدهای پوشالی چگونه است؟ چه جایی ضعیف‌ترین خیس شدگی را دارد؟ چرا؟
۷. مزایای جنس پد پوشالی چیست؟ معایب آن چیست؟
۸. مزایای پد سلولزی چیست؟ معایب آن چیست؟
۹. تمایز سیستم‌های توزیع آب بدون پمپ و با پمپ گردش را بیان کنید. کاربرد کدام یک بیشتر است؟
۱۰. وقتی کولر به صورت نا تراز نصب می‌شود، قاب‌های نگهدارنده پد چگونه جریان آب را متعادل می‌کنند؟
۱۱. چرا گاه کولرهای آبی با پدهای خشک کار می‌کنند؟
۱۲. پمپ‌های گردش را چگونه می‌توان در برابر رشته‌های پوشال و دیگر آشغال‌های درون آب محافظت کرد؟ موتور آن‌ها چگونه خنک می‌شود؟
۱۳. موارد زیر را تعریف کنید: مساحت رخ، سرعت رخ، چگالی پد، ضخامت پد و ضخامت معادل.
۱۴. مزایای سرعت هوای بالا در پدها چیست؟ معایب آن چیست؟ محدوده ایمن کولرهای تجاری چیست؟
۱۵. وقتی نرخ پایین جریان آب موجب خشکی و خیسی متناوب سطح پد می‌شود چه خرابی رخ می‌دهد؟ چرا؟
۱۶. مزایای نرخ‌های جریان آب در حالت بیش از نیاز عادی چیست؟

فصل ۷

توسعه کولرهای آبی

کولرهای آبی ارزان‌ترین و ساده‌ترین کولرهای تبخیری بوده و به ازای هزینه صرف شده بیشترین اسایش را ایجاد می‌کنند. البته بیشتر به خاطر قیمت‌گذاری رقابتی دارای معضلاتی هم هستند:

- شکم دادن پد
- گرفتگی پد
- ایجاد رسوب پوسته‌ای بر روی پد
- تخریب پد و عمر کوتاه آن
- بوی گاه و بیگاه در هنگام راه اندازی
- خوردگی بدنه
- نرخ خروجی اغراق آمیز
- فقدان کنترل اتوماتیک

این موارد به ترتیب مورد بحث قرار می‌گیرند.

شکم دادن پد

امروزه پوشال چوب اشنگ بهترین ماده از نظر قیمت یا حجم برای تماس آب و هوا است. این ماده واسط صلب با دوام که در فصل ۱۲ مورد بررسی قرار می‌گیرد ارزش بالایی داشته و برای ایجاد عملکرد

یکسان مستلزم ضخامت سه تا پنج برابر است. بنابراین در عمل تمام سازندگان از این پدهای پوشالی استفاده می‌کنند.

البته آب باعث از بین رفتن جزء استحکام بخش الیاف به نام lignin شده، انعطاف پذیری الیاف را کاهش داده و موجب نشست پد شده که در نتیجه آن شکاف‌هایی ایجاد می‌شود. این شکاف‌ها موجب ورود هوای داغ شده و بازده سرمایش کاهش می‌یابد. آن‌ها موجب ایجاد انحراف در توزیع آب شده به طوری که ممکن است آب به روی فن، موتور و اجزای برقی بی‌پاشد.

در روش‌های قدیمی از پارچه نازک‌تنظیف مانند و توری‌هایی که دو بار دوخته می‌شدند استفاده می‌شد تا پدها را در برابر فشار آب مقاوم کنند. در حال حاضر از چنگک‌هایی که بر روی شبکه توری روی پد وارد می‌شود استفاده می‌گردد. پارچه‌تنظیف موجب جلوگیری از گرفتگی پمپ و مجاری توسط الیاف پوشال شده، تماس بین آب و هوا را بهبود بخشیده، و از ورود حشرات و گرد و خاک اضافی جلوگیری می‌کند اما در عین حال موجب کاهش جریان هوا و تسریع گرفتگی می‌شود. فشار آب با نرم کردن رشته‌های پوشال موجب کاهش ضخامت و افزایش چگالی پد و کاهش جریان هوا می‌شود (به شکل ۱ این فصل مراجعه کنید).

امروزه برخی از سازندگان الیاف پوشال و حشرات را توسط یک توری پلاستیکی واقع در پشت پد کنترل می‌کنند. سایر سازندگان نیز پوشال خالی را استفاده کرده و برخی دیگر نیز از یک پارچه توری درشت بافت بر روی سمت خارجی استفاده می‌کنند که بافت آن در سمت داخل ظریف‌تر است. پد سلولزی نیز بدون چیز اضافی نصب می‌شود.

با نشست پوشال، بزرگترین شکاف‌ها در بالا ظاهر می‌شوند. در پدهای باریک و بلند این شکاف حداقل است، به طوری که برخی کولرهای بیش از $\frac{3}{4}$ اسب، در هر طرف خود دارای دو قاب نگهدارنده پد باریک هستند. در یک کولر ۵ اسب ۲۱,۰۰۰ cfm (۹/۹ m³/s) از سه قاب نگهدارنده پد استفاده شده - است. در یک کولر ۷/۵ اسب ۳۶,۰۰۰ cfm (۱۷ m³/s) با مجرای خروجی فرو باد از ۱۴ قاب نگهدارنده پد استفاده شده که در جلو و عقب از چهار قاب (هر کدام) و در هر یک از دو وجه دیگر نیز از سه قاب استفاده شده است.

در کولرهای کوچک‌تر، از پدهای بلند نمی‌توان استفاده کرد و روش جاری در مورد کولرهای معمول که در پشت بام نصب می‌شوند استفاده از پدهای پهن و کوتاه است. با مسدود سازی چند اینچ از قسمت فوقانی و استفاده از چنگک در بالا می‌توان از ایجاد شکاف جلوگیری کرد، اما سطح مزبور موجب ورود هوای داغ غیر مرطوب می‌شود زیرا آبی که از طریق شکاف‌های فاصله دار ناودانی بر روی پوشال سرازیر می‌شود به کندی در جهت جانبی پخش می‌شود. پوشال‌های چگال‌تری که در جهت

افقی ترتیب داده شده‌اند توأمآ آب را به چپ و راست بهتر پخش کرده و در عین حال وقتی پوشال تمایل به نشست دارد، رشته‌های اضافی انعطاف پذیر پوشال به سمت پایین منبسط می‌شوند. پدهای سلولزی تنها اندکی شکم می‌دهند ولی پارگی در آن‌ها مشاهده شده‌است.

گرفتگی پد

گرفتگی پد در اثر تجمع گرد و خاک، گرده گیاهان و ضایعاتی از این قبیل به انضمام رسوبات ناشی از مواد معدنی درون آب است. گرفتگی وقتی آغاز می‌شود که ذرات به الیاف خیس برخورد کرده و بدان می‌چسبند. تشکیل رسوب معمولاً هنگامی آغاز می‌شود که دو رشته از الیاف پوشال همدیگر را قطع کرده یا بر هم مماس هستند. از آنجا که موینگی مانع از تخلیه کامل می‌شود، پس از هر بار خشک شدن محل پیوند الیاف که در شبانگاه یا مواقع خاموشی کولر اتفاق می‌افتد، گرد و خاک محبوس و مواد معدنی نامحلول ته‌نشین می‌شوند. دیگر رسوبات در هنگامی ایجاد می‌شوند که رشته‌ها، در اثر خورشید، باد، یا خیس شدگی ناکافی در آب و هوای خشک، به طور متناوب خشک و تر شوند. افزایش جریان آب موجب رفع این نوع رسوب می‌شود.

هر گونه افزونگی رسوب و گرد و خاک موجب کاهش موینگی سطح پوشال و تمرکز موضعی خیس شدگی شده، جریان آب را هر چه بیشتر متمرکز و کانالیزه کرده و سایر نواحی را خشک‌تر می‌کند. در نواحی خشک‌تر، ته نشست رسوب سریع‌تر بوده تا این که جریان هوا کاهش یافته و پوشش گرد و خاک بر روی سطح برجسته شود.

متأسفانه در بیشتر مناطقی که از کولر آبی استفاده می‌شود توفان گرد و خاک رخ می‌دهد. مولف این کتاب در ایالت آریزونا کولرهایی را مشاهده کرده که بر روی کرکره آن‌ها گرد و خاک، در اثر آب موجود در پد، به صورت برجسته، به ضخامت یک اینچ (۲/۵ cm)، به صورت سیمانی در آمده بود. گرد و خاک کاملاً سریع‌تر از رسوبات موجب گرفتگی پدها می‌شوند.

مناطق خیس پد بسیار کندتر دچار گرفتگی می‌شوند و جریان آب کانالیزه شده رو به تزاید آن در عمل گرد و خاک را می‌شوید. در نتیجه با پیشرفت گرفتگی، جریان‌های اصلی آب به بیشتر هوا اجازه عبور، با یک سرعت رو به تزاید، را می‌دهند. تدریجاً جریان متقاطع هوا موجب پاشش آب به سمت داخل، زنگ‌زدگی فن، یاتاقان‌ها و پولی شده و به تدریج موجب اتصال کوتاه موتور می‌شود. افشانه ورودی فن موجب زنگ زدگی کانال یا آسیب دیدگی اثاث درون منزل شده و در عین حال موجب زبری و عدم توازن (بالانس) دمنده می‌شود.

به دلیل گرفتگی و تشکیل رسوب، سازندگان کولرهای آبی تشویق می‌کنند که به جای استفاده از پدهای دائمی، هر سال (یا حتی زودتر) پدها تعویض شوند. تعویض متناوب پد در مناطق پر گرد و خاک دارای آب سخت موجب افزایش هزینه کارکرد می‌شود اگر چه برای صاحبان خانه و دارندگان مشاغل تجاری کوچک قیمت اولیه پایین کولر می‌تواند اهمیتی بیش از مخارج بعدی داشته باشد.

به دلیل اثر فیلتری، پد سلولزی آب را بهتر از پد پوشالی توزیع کرده و آب را هم از طریق خیس خوردگی و هم جریان لایه‌ای سیال انتقال می‌دهد. در اثر خیس شدگی یکنواخت‌تر و تاثیرات سطحی کمتر، ته نشست گرد و خاک و رسوبات یکنواخت‌تر بوده و در طی یک مدت زمان طولانی بازده اشباع ثابت مانده و گرفتگی تدریجی نیز به تعویق می‌افتد. حتی پس از آن، سرعت بالای هوا آب کمتری را به داخل پاشیده و هوا و آب مسیرهای متفاوتی را حفظ می‌کنند.

بنابراین در آب و هوای پر گرد و خاک و مناطق دارای آب سخت که پدهای پوشالی مستلزم تعویض ماهانه یا زودتر هستند، پدهای سلولزی شایان توجه هستند. پس از آن، کولرهای جدید با ماده واسط صلب (به فصل ۱۲ مراجعه کنید) توصیه می‌شوند. این کولرها کاملاً خود تمیز شونده بوده و اغلب دارای دریچه باز شونده‌ای در پشت خود هستند که فیلتر هوا درون آن‌ها قابل نصب است.

اغلب انواع بزرگ کولرهای مستقیم به صورت انتخابی دارای فیلتر گرد و خاک بوده و جریان آب در سطوح تماس آب-هوا نیز بسیار بزرگتر است. بیشتر آن‌ها دارای مکانیزم آب دور ریز موثری برای محدودسازی تمرکز مواد معدنی در داخل آب تشت کولر هستند.

استفاده از فیلترهای گرد و خاک برای کولرهای آبی موجب اضافه قیمت شده و اغلب سازندگان و کاربران این وظیفه را بر عهده پد می‌گذارند. البته یک سازنده در ایالت آرکانزاس، در بیرون پد پوشالی کولرهای گرد و بیضوی فایبر گلاس جدید خود، از لایه‌هایی از فیلتر گرد و خاک استفاده کرده است. یک سازنده در فونیکس نیز اقدام مشابهی را در مورد کولرهای عادی انجام داده است.

این فیلترهای گرد و خاک باید هوای شسته شده تمیزتری را ارائه کنند ولی وقتی از خاک انباشته شدند دیگر نمی‌توان آن را پاک کرد. یک شیوه مفیدتر احتمالاً فیلترهای انعطاف پذیری هستند که دور تا دور کولر پیچیده شده و روی کرکره آن‌ها را می‌پوشاند. آن‌ها را می‌توان، بدون دست زدن به پدها، به دفعات تمیز کرد و در نتیجه عمر پدها را دو برابر نمود.

البته تمام فیلترها را باید به صورت دوره‌ای تمیز یا تعویض کرد. ممکن است این کار ارزان‌تر از تعویض پدها تمام شود.

ایجاد رسوب پوسته‌ای بر روی پد

رسوب پوسته‌ای در تمام کولرها اتفاق افتاده و در عین مرتبط بودن موضوعی مستقل از گرفتگی است. تمام انواع کولرهای تبخیری با این موضوع به صورت یکسانی مواجه هستند و به صورت مشابهی با آن مقابله می‌کنند. بنابراین، موارد زیر تنها منحصر به کولرهای آبی نبوده و تمام انواع را شامل می‌شود. حتی در مناطق عاری از گرد و خاک نیز رسوب پوسته‌ای توسط مواد معدنی محلول ایجاد می‌شود. با کارکرد کولر، هر گالن از آب تبخیر شده در پشت سر خود تمام محتوای مواد معدنی محلول خود را بر جای می‌گذارد. در نتیجه غلظت آب گردشی به صورت مداوم افزایش می‌یابد. علاوه بر تمایل به خوردگی، هر قطره‌ای که خشک می‌شود رسوباتی شبیه به آهک از خود بر جای می‌گذارد. رسوب پوسته‌ای در کولرهای مستقیم معمولاً مقاومت جریان هوا را افزایش داده و قادر است بر توزیع آب نیز تاثیر بگذارد. در کولرهای غیر مستقیم علاوه بر این دو تاثیر انتقال حرارت نیز کاهش می‌یابد.

دو چیز به سادگی می‌تواند تشکیل رسوب پوسته‌ای را کاهش دهد: خیس نگه داشتن دائمی سطح الیاف پوشال و استفاده از آب خالص تر. مورد اول در کولرهای آبی مستلزم استفاده از جریان آب خیلی بیشتر از مقدار رایج است. حتی در این صورت نیز رسوب پوسته‌ای می‌تواند در طی دوره‌های زمانی طولانی در تمام انواع کولر اتفاق بیافتد. بنابراین ساده‌تر این است که غلظت مواد معدنی درون آب را کاهش داد. یک روش استفاده یک بار مصرف آب و روش دیگر دور ریز کردن مواد معدنی است.

کولرهای بدون پمپ غیر گردشی که از آب تازه استفاده می‌کنند مشکل اندکی در مورد رسوب پوسته‌ای دارند. بنابراین، در موارد نادری که آب بها اجازه می‌دهد و وقتی که تخلیه کولر مورد استفاده مجدد قرار گرفته یا قابل دفع است می‌توان بیشتر از کولرهای غیر گردشی استفاده کرد. در ازای هزینه بالاتر آب، نیاز کمتری به تمیزکاری و نگهداری و تعمیر وجود خواهد داشت. در حالت ایده‌آل، صرف یک دلار برای آب می‌تواند موجب دو یا سه دلار صرفه جویی از نظر نگهداری و تعمیر و استهلاک شود.

در شهرهایی که تخلیه آب مازاد به فاضلاب جریمه دارد، استفاده مفید از آب مصرفی کولر حیاتی است. منازل مسکونی، مدارس و موسسات دارای فضای سبز می‌توانند از این آب برای آبیاری استفاده کنند. مجتمع‌های ساختمانی و کارخانجات دارای کولرهای پشت‌بامی می‌توانند این آب را بر روی سقف مسطح تخلیه کرده تا گرمای خورشیدی را جذب کرده یا از آن برای فرآیندهای صنعتی استفاده کنند. مراکز تفریحی از این آب برای استخرهای خود و در مزارع برای فرآورده‌های موجود می‌توانند استفاده کنند (به شکل ۱ این فصل مراجعه کنید).

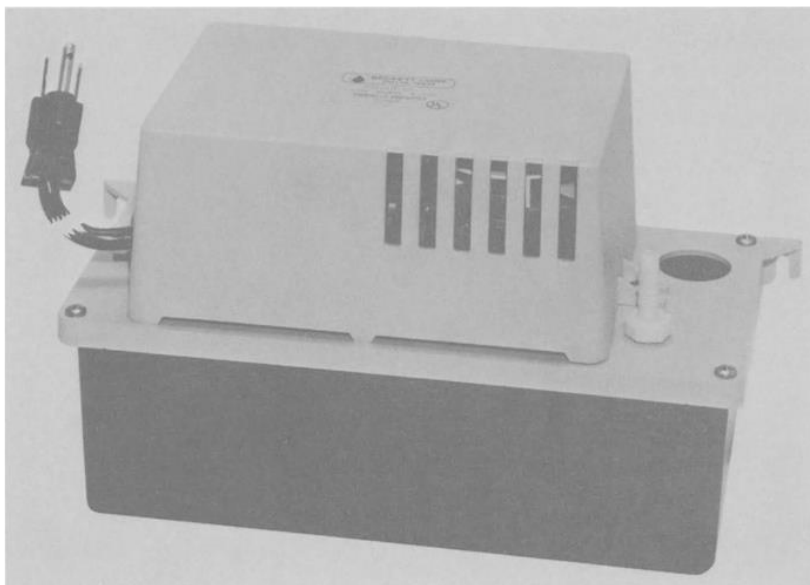
ابتکار لازم است. این کولرها، مستقیم یا غیر مستقیم، می‌توانند دارای صافی و پمپ‌هایی از نوع چگالشی^۱ باشند تا آب مصرفی را صرف سایر کاربردهای یک محوطه بکنند.

دور ریز پمپ

اغلب کولرهای آبی و سایر کولرهای تبخیری باید آب درون تشت خود را گردش داده و در نتیجه غلظت مواد معدنی محلول در آن‌ها افزایش می‌یابد. برای مثال، کولرهای آبی $6000 \text{ (} 2/8 \text{ m}^3/\text{s}\text{)}$ که برای ۹۰ روز به صورت روزانه ۱۲ ساعت با 20 grains/gallon آب سخت کار می‌کنند می‌توانند ۵۱ پوند (۲۳/۱۳ kg) رسوب ایجاد کنند.

به همین دلیل، باید به صورت مداوم، آب کافی از تشت کولر از طریق دورریز تلف شود تا مواد معدنی اضافی تجمع کرده دفع شده و غلظت تعادلی مناسبی ایجاد شود. برای اطمینان از وجود این اتلاف در حین کارکرد کولرهای آبی، اغلب آن‌ها دارای شیلنگ خروجی ویژه‌ای برای پمپ دور ریز هستند، در حالی که اغلب کولرهای پرتابی و افشانه‌ای دارای چیدمان قیف ماندی هستند تا برخی از افشانه در حال ریزش را گرفته و به دور بریزند. کولرهای با پد دوار دارای شیرهای تخلیه تشت الکتریکی زمان بندی شده هستند که نظیر آن در کولرهای آب-پرتابی و کولرهای آبی استرالیایی استفاده می‌شود (به شکل ۲ این فصل مراجعه کنید).

نرخ دور ریز مورد نیاز با میزان مواد معدنی آب ورودی و میزان تمایل آن به رسوب گذاری تغییر می‌کند. منطق چنین می‌گوید که مقدار دور ریز باید با مقدار آب تبخیری برابر باشد. این امر موجب محدود شدن غلظت آب تشت، تا حدود دو برابر آب تازه ورودی، شده که مقدار ایمنی است. البته وقتی آب ورودی تنها اندکی سخت است، از ۲۵ یا حتی ۵۰ درصد دور ریز می‌توان استفاده کرد. از آنجا که فروشندگان برج خنک‌کن نیز با مشکلات مشابهی مواجه هستند، آن‌ها دارای داده‌هایی از نظر نرخ دور ریز و تصفیه شیمیایی آب هستند (در ادامه توضیح داده می‌شود).



شکل ۱- یک پمپ چگالشی با نام تجاری Beckett برای دفع دور ریز. در اندازه‌های $\frac{1}{8}$ تا $\frac{1}{4}$ اسب بخار که دارای مخزنی برای تجمع آب تلف شده بوده و سویچ‌های شناوری نیز دارند که در صورت پر بودن، این پمپ‌ها را به کار می‌اندازد. جهت استفاده مناسب یا دفع، این پمپ‌ها آب را به میزان ۱۰ الی ۲۰ فوت (۳/۳ تا ۶/۶ متر) بالا می‌برند. پمپ‌های بزرگ می‌توانند موجب تسهیل در استفاده از آب ارزان قیمت حاصل از رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و چاه‌های خصوصی، به صورت غیر گردشی شده و در نتیجه موجب کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیر شود. از نظر عمر پد، خوردگی کولر، و هزینه‌های تمیزکاری فصلی و رنگ آمیزی نیز بهبود حاصل می‌شود. در عین حال آب یکبار مصرف باید به جز مصارف آشامیدنی برای دیگر مقاصد مختلف مناسب باشد.

از آنجا که نرخ‌های تبخیر و تجمع مواد معدنی مستقیماً با افت دمای مرطوب هوا تغییر می‌کند، یکی از صاحب‌نظران پیشنهاد داده که در ابتدا مقدار نرخ دور ریز در حد یک دهم نرخ تبخیر اوج^۱ در بعدازظهر محاسبه شود. کارکرد در طی ساعات غیر از اوج می‌تواند موجب ایجاد میانگین دور ریز قابل قبولی بشود. اگر این آزمون تمایل به ایجاد رسوب را نشان دهد، نرخ اتلاف افزایش می‌یابد.

صاحب‌نظر دیگری دور ریز یک گالن در ساعت به ازای هر 1000 cfm (1 l/h) به ازای هر m^3/min (۷/۵) هوای خروجی را توصیه کرده‌است. این امر معمولاً غلظت درون آب تشت را در حدود سه برابر آب تغذیه ساده نگه می‌دارد. یک غلظت چهار برابر در حد ایمن است. برای وضعیت‌های پیچیده‌تر آب دور ریز وی فرمول زیر را پیشنهاد داده‌است:

$$B_1 = \frac{C_1}{C_2 - C_1} \times B_2$$

به طوری که:

C_1 = سختی آب بر حسب grains/gal یا (gr/l)

C_2 = سختی مورد نظر آب بر حسب grains/gal یا (gr/l)

B_2 = نرخ تبخیر بر حسب gal/hr یا (l/hr)

داده‌های سختی آب برای تقریباً هر مکان، در سازمان آب آن جا موجود است. ممکن است آب‌هایی که از منابع دیگر به دست می‌آیند مستلزم آزمون باشند. در منحنی زیر رابطه بین نرخ‌های دور ریز و غلظت حاصل، که برای سیستم متریک نیز صحت دارد، نشان داده شده‌است (به شکل ۳ این فصل مراجعه کنید).

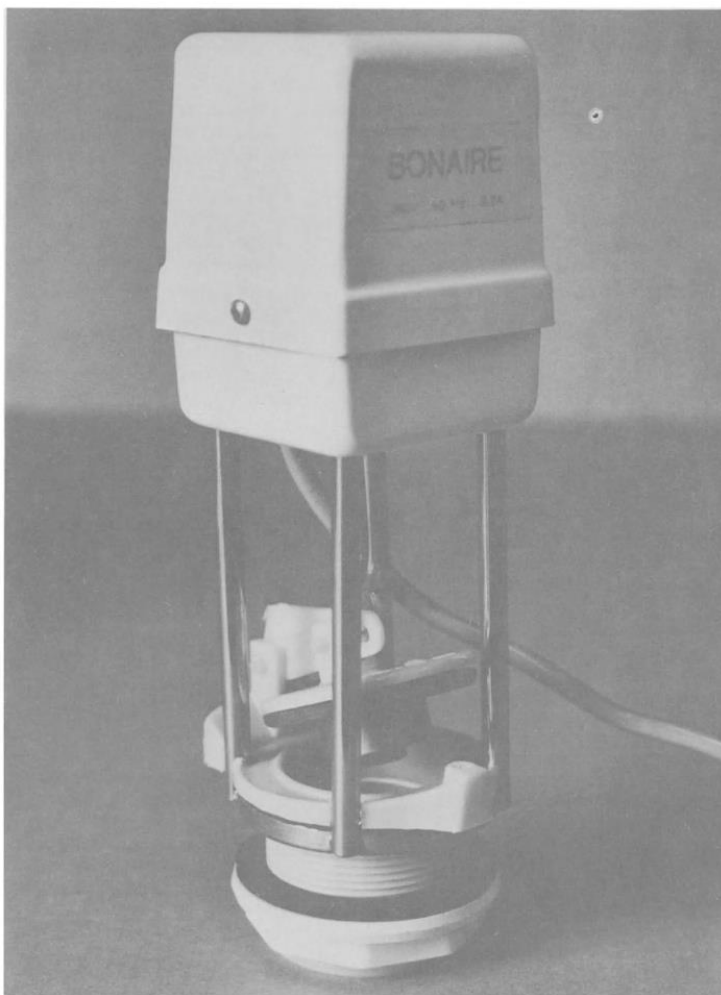
کنترل‌های اتوماتیک برای محدودسازی رسوب، به صورتی که در ادامه این فصل مورد بحث قرار می‌گیرد، تا حدودی توسط بخش‌های تحقیقاتی استرالیا پیشنهاد شده‌است.

تصفیه شیمیایی آب

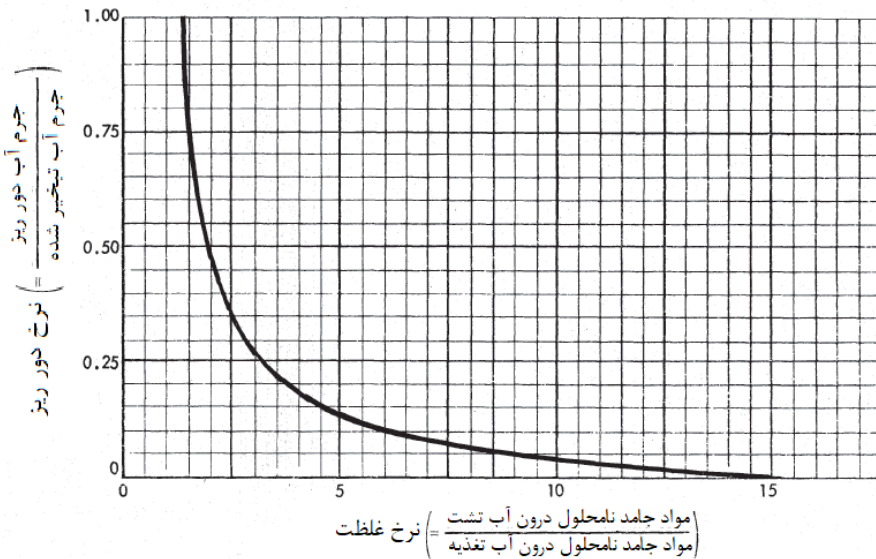
تصفیه شیمیایی آب برای کاهش رسوب به ندرت در کولرهای آبی انجام می‌شود مگر این که احتمالاً برنامه نگهداری و تعمیر پیشگیرانه‌ای در واحدهای صنعتی بزرگ صورت گیرد. به منظور دسته‌بندی تمام داده‌های مربوط به جلوگیری از رسوب، این موضوع در اینجا مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در کولرهای تبخیری بزرگ، به ویژه در صورت وجود نظارت، آزادانه از مواد شیمیایی استفاده می‌شود. همچنین معمولاً وقتی پاک کردن رسوبات دشوار بوده و آب آن محل متمایل به سختی بوده و ایجاد رسوب می‌کند، تصفیه شیمیایی مکمل معمولی برای آب تغذیه است تا موجب نرمی رسوب شود.

سختی‌گیری آب به ندرت یک راه حل محسوب می‌شود. معمولاً در طی آن به جای کلسیم، منیزیم و سولفات اولیه، صرفاً سدیم جایگزین می‌شود. این امر به هیچ وجه موجب کاهش وزن کل مواد معدنی محلول نشده ولی می‌تواند قابلیت خوردگی و رشد قارچ را افزون کند.



شکل ۲- یک شیر تخلیه برای تشت کولر تبخیری با نام تجاری Bonarie (استرالیایی) که در پایین‌ترین نقطه تشت نصب می‌شود و در هنگامی که سیم پیچ (سولنویید) فوقانی آن را باز می‌کنند به صورت دور ریز به سرعت آب تشت و رسوبات را تخلیه می‌کند. از این شیر می‌توان به صورت دستی برای تخلیه سیستم در هنگام خاتمه فعالیت کولر استفاده کرده یا آن را در طول روز، برای ساعات کارکرد دو یا چند ساعته زمان بندی کرد. وقتی کولر کار می‌کند، پیش از این که ورودی پمپ آب خود را از دست بدهد یک رله تاخیری شیر را می‌بندد در نتیجه در ایجاد سرمایش وقفه حاصل نمی‌شود. شیرهای مشابهی در کولرهای دوار ایالات متحده و برخی کولرهای آبی-پرتابی (فصل ۱۰) استفاده می‌شود.



شکل ۳- تاثیر نرخ دور ریز بر غلظت مواد معدنی آب تشمت. در سمت چپ-بالا، مقدار دور ریز با مقدار تبخیر شده برابر بوده و غلظت مواد معدنی کمی کمتر از سه برابر آب تازه ورودی باقی می‌ماند. کاهش ۵۰ درصد در دور ریز، میزان این غلظت را به چهار برابر افزایش می‌دهد که حد ایمنی برای اغلب آب‌ها است. وقتی که آب به صورت طبیعی رسوب نرم، پوک، غیرچسبناک تولید می‌کند می‌توان نرخ کمتری از دور ریز را استفاده کرد.

افزودنی‌های شیمیایی قادر به جایگزینی دور ریز نبوده ولی می‌تواند با افزایش قابلیت انحلال آب تشمت و در نتیجه غلظتی که طی آن ته نشست صورت می‌گیرد، نرخ مورد نیاز آن را به میزان زیادی کاهش می‌دهد. برای مثال، هگزا متا فسفات سدیم که معمولاً Calgon یا Micromet نامیده می‌شود به محلول ماندن مواد معدنی کمک کرده که در غیر این صورت مستقیماً موجب تشکیل رسوب از مایع می‌شوند.

در هنگامی که آب خشک می‌شود (مثل پدها در هنگام خاموشی کولر) مواد افزودنی موجب ممانعت از رسوب نمی‌شوند. البته، در مورد سطوح اصلی که به ندرت خشک می‌شوند، آن‌ها به انواع کولرها کمک می‌کنند. برخی مواد افزودنی حاوی tannin بوده که موجب نرمی و پوکی رسوب و جلوگیری از سختی و چسبندگی آن می‌شود.

پودرهای با انحلال تدریجی که درون محفظه‌های متخلخل قرار دارند به عنوان ساده‌ترین مواد شیمیایی به آب تشمت افزوده می‌شوند. آن‌ها به صورت مداوم به آب گردشی اضافه می‌شوند ولی در ساعات خاموشی کولر در اطراف ظرف خود غلیظ شده و ممکن است باعث خوردگی اسیدی شوند. به

منظور کنترل بهتر، در کولرهای بزرگ از مواد افزودنی مایعی استفاده می‌شود که اغلب توسط یک پمپ الکتریکی تزریق شده و تنها در طی جریان کامل آب عمل می‌کنند.

سازمان آب منطقه‌ای یا فروشندگان برج خنک کن به بهره برداران توصیه می‌کنند که از مواد افزودنی مناسب با شرایط آب استفاده کنند. البته به خاطر استفاده از این مواد هزینه کارکرد افزایش می‌یابد. در حالت حداقل دور ریز، هر گونه خروج مواد شیمیایی موجب تسریع تشکیل رسوب می‌شود. به علاوه، همواره احتمال بروز خوردگی وجود دارد.

تخریب پد

عمر پد اغلب بر حسب مواردی مثل شکم دادن، گرفتگی، و رسوبات پوسته‌ای و همچنین با فساد که تابع زمان و کنش باکتریایی است تغییر می‌کند. از طریق این که در فصل تابستان هر از گاهی به پوشال اجازه داده شود که کاملاً خشک شود می‌توان موجب حفظ کیفیت و انعطاف‌پذیری و بهبود وضعیت باکتریایی آن شد. این کار مستلزم عملکرد کولر به صورت خشک به میزان دو ساعت از یک شب در طول هفته است. این کار موجب سلب آسایش در برخی کاربردها و اقلیم‌ها به همراه چند دقیقه پیچیدن بو در هر بار اقدام می‌شود.

دور ریز زیاد و در نتیجه نرخ‌های آب جبران باعث کنش ضدعفونی کننده کلر در برابر فساد می‌شود. به میکروب‌کش‌های دیگر معمولاً نیازی نیست. برخی مواد شیمیایی تصفیه آب از فساد ممانعت به عمل آورده ولی در عین حال می‌توانند موجب تسریع نرم‌شدگی پوشال بشوند.

مشکلات بو

اغلب کولرهای آبی با آب گردشی و دور ریز ناکافی، ممکن است در هنگام راه اندازی اندکی بوی ترشیدگی ناشی از وجود لجن باکتریایی و جلبک در پدها باشند. این امر معمولاً در هنگامی رخ می‌دهد که پدها به صورت جزئی خشک بوده در نتیجه در هنگام پوشش این ارگانیس‌م‌ها توسط لایه آب، این بو از بین می‌رود.

باکتری در پدها می‌تواند از پوشال تغذیه کند ولی جلبک‌ها غیرانگلی بوده و صرفاً از آب، دی اکسید کربن و مواد معدنی تغذیه می‌کنند. با آزمایش مشخص شده که کولری که بوی ماهی ساطع می‌کند حاوی پنج نوع جلبک است. برخی از انواع آن به سرعت تکثیر شده و ظرف یک یا دو روز از گذشت کارکرد بو ایجاد می‌کنند.

از بین بردن جلبک‌ها دشوار است. استفاده از پدهای خشک برخی از انواع جلبک را از بین برده ولی در ابتدا موجب ایجاد بو می‌شود و نتایج آن نیز موقتی است. برخی کاربران توصیه می‌کنند که به منظور استریل سازی و علیرغم کاهش بازده، کولرها در زیر آفتاب قرار گیرند. برخی دیگر نیز در داخل کولر لامپ فرابنفش نصب می‌کنند. برخی نیز از سودا، براکس، آب اکسیژنه یا پرمنگنات پتاسیم در آب درون تشت استفاده می‌کنند. هیپوکلرید سدیم (ماده سفیدکننده خانگی) جلبک‌ها را از بین می‌برد اما گاز کلر آزاد می‌کند. دیگر مواد نظیر سولفات مس، پنتا کلرو فئات سدیم و ترکیبات آمونیاک از دیگر موادی هستند که به منظور جلوگیری از خوردگی یا سایر مشکلات مستلزم استعمال حرفه‌ای هستند.

از آنجا که عملیات شیمیایی تاثیر موقت دارند، بهترین راه کنترل جلبک، دور ریز کافی است. این امر موجب کاهش مواد معدنی مغذی جلبک‌ها و افزایش مقدار کلر ورودی می‌شود. کولرهای آبی بدون جلبک همچنان، در اثر کثیفی بیش از حد پد یا فساد پوشال، قادر به تولید بوی خاک هستند. یک سازنده، برای جلوگیری از این فساد و همچنین عدم تشکیل جلبک، ۵۰٪ پوشال درخت ماموت را با پوشال اشنگ مخلوط کرد. این امر موجب تولید مواد شیمیایی می‌شود که مانع از تشکیل جلبک می‌شود.

مقاومت در برابر خوردگی

همان گونه که پیش از این ذکر شد، علیرغم اندازه‌های مختلفی که کولرهای آبی دارند، طراحی و کارکرد آن‌ها با هم تفاوتی ندارد. تا حال حاضر، تنها اندکی از آن‌ها مواد پایه متفاوتی داشته‌اند.

کولرهای فولادی گالوانیزه

خوردگی بزرگترین دشمن کولرهای آبی است زیرا اغلب بخش‌های آن در تماس با محلول‌های آب‌برد و هوا برد^۱ غلیظ شیمیایی حاوی اکسیژن قرار دارند. در جنوب غربی ایالات متحده، آب تشت به شدت قلیایی می‌شود. در مناطق صنعتی و بسیاری نواحی دیگر نیز اسیدی می‌شود. به هر حال فولاد ساده در معرض تهدید قرار دارد.

اگر چه برخی کولرهای اولیه دارای پوشش لعاب‌دار بودند ولی استفاده از فولاد گالوانیزه سریعاً استاندارد شده و در حال حاضر نیز مورد استفاده قرار دارد. از آنجا که بخش پایینی کولر به عنوان تشت عمل می‌کند باید از فولاد گالوانیزه شده عمیق به طریق داغ^۲ ساخته شود. تقریباً یک اونس روی

1- Waterborne and airborne

2- Hot-dipped galvanized steel

به ازای هر فوت مربع توصیه می‌شود. بدین ترتیب به راحتی و بدون پوسته شدن، روکش محکمی از فلز روی تشکیل می‌شود.

در بهترین کولرها از این فلز برای تمام قسمت‌ها استفاده می‌شود. کمترین میزان رضایت مربوط به فولاد گالوانیزه الکترولیتی نازک است. البته، تمام این گونه پوشش‌ها ممکن است توسط پلاستیک، مواد آسفالتی یا مواد پخته شده همراهی شوند.

یکی از بزرگترین سازندگان از فولاد گالوانیزه کلاس D نوع یک با مشخصات فدرال QQ-5-775 استفاده می‌کند. پس از فرم دهی و تمیزکاری، بار الکترواستاتیکی به آن داده شده و سپس پودر Polybond بر تمام سطح آن پاشیده می‌شود. سپس این پودر در کوره ذوب شده تا ضد خراش شده و یک روکش با خصوصیات شیمیایی تقریباً دائمی را تشکیل دهد. دیگر شرکت‌ها از از پلی استرها یا روکش‌های دیگر استفاده می‌کنند. این روکش‌های مکمل به برخی سازندگان اجازه می‌دهند که در مقایسه با سابق از فلز نازک‌تری استفاده کنند.

به منظور سهولت نقل و انتقال، قاب‌های نگهدارنده پد از نازک‌ترین فلز ساخته شده ولی خشک و مرطوب شدن متناوب رخ کولر، گرمای خورشید، اسید موجود در هوا، آب یا فساد و غبار احتمالاً ساییده موجب می‌شود که معمولاً اولین چیزی باشند که باید تعویض شوند.

از آنجا که چرخ دمنده به صورت پیوسته با هوای بسیار مرطوب تماس دارد، لذا جهت حفظ توازن و خروجی لازم است گالوانیزه باشد. به شفت‌ها، یاتاقان‌ها و پولی‌های مقاوم در برابر زنگ‌زدگی کمتر نیاز است. پوسته دمنده معمولاً گالوانیزه شده و سپس برای مقابله با زنگ زدگی و ارتعاش دارای پوشش ضخیمی شده و توسط تکیه‌گاه‌های لاستیکی یا انعطاف‌پذیر از بدنه منفک شود.

خوردگی الکترولیتی به صورت نادر رخ داده و در حال حاضر از لوله‌های پلاستیکی به جای مسی استفاده می‌شود. در صورت نیاز به اتصال به لوله مسی یا لوله‌های تخلیه آب، از اتصالات پلاستیکی یا عایق الکتریکی استفاده می‌شود. وقتی لوله مسی از دیواره بدنه کولر عبور می‌کند از سوراخ‌بان‌های لاستیکی یا پلاستیکی استفاده می‌شود. در عین حال، اغلب پیچ‌ها از فولاد زنگ نزن هستند که ممکن است نسبت به فولاد گالوانیزه واکنش نشان دهند لذا برای جلوگیری از تماس، از واشرها و مهره‌های پلاستیکی استفاده می‌شود. بسیاری از اتصالات کوچک پلاستیکی هستند.

البته، لجن جمع شده در تشت و ناودانی می‌تواند به روکش و سپس به فلز روی گالوانیزه حمله کند در نتیجه اغلب سازندگان توصیه می‌کنند که در طی هر ۶۰ روز از طول فصل و در انتهای فصل تمیزکاری صورت بگیرد. تشت‌ها باید، احتمالاً سالانه، از سمت داخل خود با رنگ آسفالتی رنگ شوند.

فلزات لخت سایر نقاط باید با مواد ضدزنگ یا روکش‌های با کیفیت رنگ شوند. در طی استفاده عادی و با رعایت اقدامات مراقبتی، بدنه اغلب کولرهای گالوانیزه ۱۵ تا ۲۰ سال عمر می‌کند هر چند که قاب‌های نگهدارنده پد آن‌ها باید در این فاصله دو تا چهار بار تعویض شود.

در حالی که نصب کولرها، به دلیل سرویس ساده، و علیرغم افزایش هزینه کارگر، رو به تزاید است، امروزه تعداد رو به رشدی از خریداران در جستجوی کولرهای مقاوم در برابر خوردگی هستند، حتی اگر قیمت آن بالاتر باشد.

اولین کولر از جنس فولاد زنگ نزن در تگزاس ساخته شد تا با معضلات مربوط به آب نزدیک معادن El Paso تطابق داشته باشد. سال‌های متمادی این کولرها به تعداد محدود و با قیمت بالا ساخته شده و در نقاط دیگر کمتر مورد توجه بودند. در حال حاضر چند شرکت در کنار کولرهای گالوانیزه خود کولرهایی از جنس فولاد زنگ نزن نیز می‌سازند حتی کارخانه‌ای وجود دارد که فقط کولرهای از جنس فولاد زنگ نزن می‌سازد. در آریزونا کولرهایی با جنس پلاستیک قالب‌گیری شده به طریق تحت فشار ساخته شده و در کالیفرنیا، آرکانزاس و احتمالاً چند جای دیگر کولرهای فایبرگلاس ساخته می‌شود. این کولرها در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

کولرهای فولاد زنگ نزن

در حالت کلی، تنها بدنه و قاب‌های نگهدارنده پد زنگ نزن هستند. دمنده، پمپ و بقیه اجزا از مواد استاندارد هستند. کولرهای زنگ نزن مزایای راستینی دارند. قاب‌های نگهدارنده پد عمر طولانی دارند و تشت و چارچوب تقریباً عمر نامحدودی می‌کنند. بدنه درخشان بیرونی موجب بازتاب گرمای خورشید شده و هوای شسته شده خنک‌تر و کمتر مرطوبی را می‌دهد. البته نوع رایج یعنی فولاد زنگ نزن ۳۰۴ در برابر برخی اسیدها آسیب پذیر است. در نتیجه، قرار دادن این کولرها در مجاور بخارات اسیدی یا استفاده از مواد تصفیه‌ای اسیدی کننده آب عاقلانه نیست. در هر حالت توصیه می‌شود که دور ریز کافی آب وجود داشته باشد.

البته احتمال الکترولیز وجود دارد. گزارشاتی رسیده که برخی تشت‌های زنگ نزن، در جایی که فلزات دیگر شامل فولاد ساده کربنی با آن تماس دارند، سوراخ شده‌اند. شفت‌ها و روتورهای عمودی فولادی پمپ‌های معمولی هوا-خنک گریپاژ کرده در حالی که پمپ‌های با روتور پلاستیکی هنوز کار می‌کنند. یک سازنده در فونیکس، تنها کولرهای آبی از جنس فولاد زنگ نزن را در چهار اندازه بدنه مختلف می‌سازد. نوع کوچک آن با توان یک سوم اسب، برای خانه‌های متحرک خودرویی و موارد مشابه به

صورت فروباد(تخلیه از پایین) است. سه مدل دیگر به صورت فروباد یا تخلیه از کنار و با توان‌های $\frac{1}{4}$ یا $\frac{3}{4}$ اسب هستند. تمام این کولرها دو سرعت هستند.

یکی از ویژگی‌های انتخابی باعث شده که این کولرها تقریباً خود تمیز شو باشند. در فواصل زمانی معین از کارکرد کولر، یک پمپ ثانویه هوا-خنک با محور عمودی، شروع به چرخش آب به صورت دواير پهن در داخل تشت می‌کند. این امر موجب جذب بیشتر رسوبات انباشته شده درون آب شده و در ادامه پمپ‌های عادی مرطوب کننده پد، این آب را از طریق شیرهای برقی تایمر دار تخلیه می‌کنند. قبل از خشک شدن پد فرض می‌شود که کارکرد به صورت عادی است. بدین ترتیب، غلظت مواد معدنی و لجن به میزان زیادی کاهش می‌یابد(به شکل ۱ این فصل مراجعه کنید).

سیستم زمان‌بندی شده شوینده تشت موجب عدم نیاز به دور ریز معمول می‌شود. میزان اتلاف آب این روش هم کمتر است. به منظور نصب وسیله تمیز کننده تشت، کیت‌های آماده‌ای وجود دارد(به شکل ۴ این فصل مراجعه کنید).

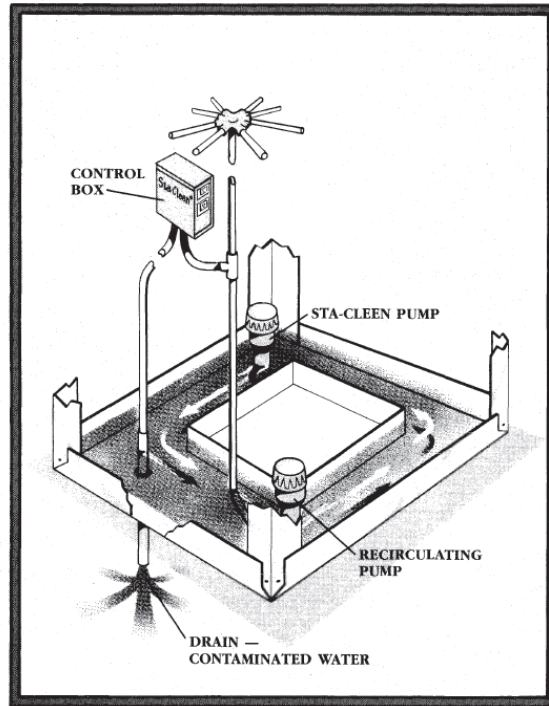
کولرهای پلاستیکی قالب‌گیری شده به طریق تحت فشار

سازنده‌ای در فونیکس کولرهای آبی پلاستیکی را تولید می‌کند که دارای وزن سبک، مقاومت در برابر خوردگی و جذب صدا بوده به طوری که میزان صدای کارکرد را ۲۵٪ کاهش می‌دهند.

تشت آب، قسمت فوقانی، نگهدارنده‌های پد و پوسته دمنده از رزین پلی پروپیلن قالبی بوده که موجب سفتی اجزای سازه، دوام سطوح و تا حدودی بخش متخلخل داخلی می‌شود. با مقطعی که ضخامت آن از $\frac{3}{16}$ تا احتمالاً $\frac{3}{8}$ اینچ (۴/۸ تا ۹/۵ میلی‌متر) تغییر می‌کند، عایق سازی حرارتی و صوتی به صورت توام انجام می‌گیرد. مواد پلاستیکی موجب کاهش آسیب ناشی از آب و هوا و نور خورشید می‌شود. قیمت این مواد از فلز گران‌تر است ولی فرآیند قالب‌گیری موجب کاهش هزینه کارگر و تجهیزات می‌شود.

به صورت ویژه، حجم اندازه‌گیری شده‌ای از رزین دانه‌بندی شده پلاستیک در داخل حفره‌های قالب گرم فولادی پایینی قرار داده می‌شود. قالب گرم فوقانی، پایین آمده و پودر را در تمام فضاهای بین دو قالب متراکم می‌کند. گرما تا حدودی رزین را مایع کرده و در چند ثانیه سفت می‌شود. وقتی قالب فوقانی بالا می‌رود، تشت، قسمت فوقانی، قاب‌های نگهدارنده پد و دو نیمه محفظه دمنده به صورت ساخته شده خارج شده و برای تکمیل و مونتاژ آماده می‌شود.

در حال حاضر این کولرها در دو اندازه بدنه ساخته می‌شوند، اندازه کوچکتر به موتورهای $\frac{1}{3}$ ، $\frac{1}{4}$ یا $\frac{3}{4}$ اسب مجهز بوده و به صورت تک یا دو سرعته هستند. اندازه بزرگتر دارای موتور $\frac{1}{4}$ یا $\frac{3}{4}$ اسب است. میزان جریان خروجی از ۳۷۷۷ تا ۴۸۲۰ cfm (۱/۸ تا ۲/۳ m³/s) است.



شکل ۴- یک چیدمان خاص پمپ برای شستن رسوبات و غیره از تشت کولر. در فواصل زمانی، پمپ عقب یک جریان دایروی را در تشت ایجاد می‌کند تا مواد زائد را به دنبال خود بکشد. سپس یک شیر در داخل جعبه کنترل باز می‌شود و پمپ عادی گردش دهنده آب حاوی اضافات را از سیستم تخلیه می‌کند.

بر خلاف کولرهای رایج، این کولرها دارای ستون‌های گوشه نبوده ولی در استفاده از پوسته دمنده، به صورت دو نیمه قالب‌گیری شده‌اند که به هم پیچ شده و یک سازه عمودی را ایجاد می‌کنند. با پیچ شدن به فلنج‌های تشت و قسمت فوقانی کولر تنظیمات لازم انجام شده و استحکام مورد نظر به دست می‌آید. فن‌ها نیز از نوع رایج هستند. تمام پیچ‌های سازه، درون مغزی‌های برنجی رزوه‌دار روی سازه پلاستیکی کولر پیچ می‌شوند تا این ساختار چاک نخورد. به منظور حمل و نقل، به جای ستون‌های گوشه، لوله‌های پلاستیکی موقت قرار می‌گیرد.

چهار قاب نگهدارنده پد دارای اتصال فارسی^۱ در گوشه‌ها بوده در نتیجه تعداد شکاف‌های عمودی که هوا از آنجا نشت می‌کند نصف کولرهای معمولی است.

قاب‌های نگهدارنده به صورت کامل به همراه ناودانی‌های شکاف‌دار توزیع آب در قسمت فوقانی خود قالب‌گیری می‌شوند. هر کدام از این قاب‌ها دارای چهار بخش مجزای سدبندی شده هستند تا جریان آب خیس کننده پدها، در شرایط نصب نا تراز، متعادل شود. دو قلاب (چفت) در بالا و پایین، قاب‌های نگهدارنده را در جای خود نگه می‌دارد.

کرکره‌های قاب نگهدارنده جریان هوای افقی بهتری را نسبت به کولرهای فلزی ایجاد کرده ولی از ایجاد لکه‌های آهکی بر روی بدنه، که در اثر ترشحات پد به وجود می‌آید، محافظت می‌کنند. به علاوه، جهت کرکره‌ها موجب می‌شود که هوای ورودی کمتر رو به پایین شده و تلفات ناشی از تلاطم داخلی کاهش یابد.

قلاب‌های پلاستیکی قالبی پشت کرکره‌ها، از شکم دادن پد جلوگیری کرده و فلنج‌ها نیز آن را از چپ، راست و پایین محصور می‌کنند. شبکه‌های توری از جنس فولاد تفلون پوش با فلنج درگیر شده تا پدهای پوشالی را در برابر فشار هوا حمایت کنند. سازنده توصیه می‌کند که پدها دو بار در سال (یکی در ابتدای فصل و یکی در میان فصل) تعویض شوند.

پمپ‌های رایج آب را به لوله‌های پلاستیکی دور تا دور روی ناودانی قاب نگهدارنده پد انتقال می‌دهند. این لوله‌ها سوراخ سوراخ بوده تا هر ناودانی را، با فشار و حجم سیال یکسانی از سوی پمپ، به میزان لازم تغذیه کند. آب تخلیه شده از پد به منظور گردش مجدد به تشت برگشته و از طریق شیر شناور نیز آب تازه اضافه می‌شود. سوراخ‌های تخلیه نیز از لبریز شدن سیال جلوگیری می‌کنند (به شکل ۵ این فصل مراجعه کنید).

سازنده این نوع کولر در نظر دارد که نوع جریان افقی و نوع پنجره‌ای را نیز در خط تولید خود قرار دهد. همچنین در نظر است تعدادی از بخش‌های فلزی، مثل بست‌های نصب موتور، پلاستیکی شوند تا با مقاومت در برابر خوردگی عمر طولانی‌تری بیابند.

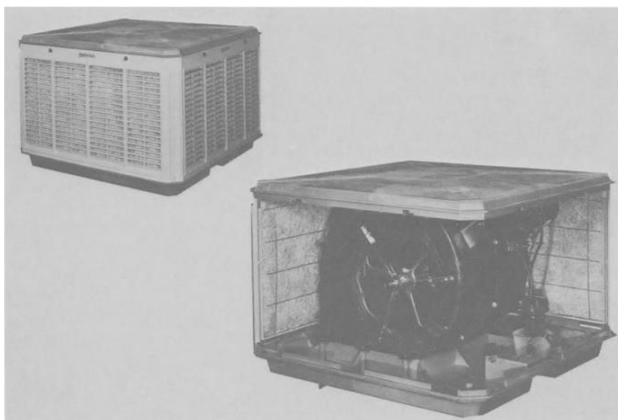
یک کولر پلاستیکی قالبی دیگر

شرکت دیگری نیز، در فونیکس، از قالب‌گیری تزریقی-واکنشی پلی اورتان برای ایجاد قطعات بدنه تمام پلاستیک زنگ نزن استفاده نمود. بدین منظور دو ماده واکنش‌زا (polyol و isocyanate) در فشار بالا با هم مخلوط شده و به داخل قالب‌های آلومینیمی صیقلی و آب-خنک جریان می‌یافتند. در اینجا بسپارش (پلیمریزاسیون) سریع موجب تبدیل مخلوط درون قالب به یک ماده جامد صلب و یکنواخت

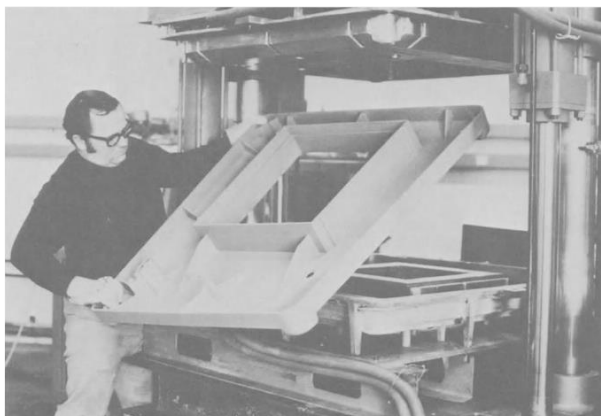
1- Miter joint

شده که شکل قالب را به خود می‌گرفت. ظرف چند ثانیه قالب باز شده و قطعات ساخته شده خارج می‌شدند (به شکل ۶ این فصل مراجعه کنید).

قسمت‌های فوقانی، کف، ستون‌های گوشه پمپ و قاب‌های نگهدارنده پد شکل داده شده و با استفاده از اتصالات و پیچ‌های فولادی زنگ نزن نصب می‌شدند و همچنین از دمنده، پمپ، پد و ... معمولی در این کولر استفاده می‌شد. متأسفانه این نوع کولر دیگر ساخته نمی‌شود.



شکل ۵- یک کولر پلاستیکی با قالب‌گیری تراکمی با نام تجاری Tradedwinds. تشت، قطعه بالایی، قاب‌های نگهدارنده پد و محفظه دمنده تماماً به صورت قالب‌گیری فشاری از پلاستیک غیر خورنده هستند. پوسته دمنده، سازه عمودی کولر را تشکیل داده و موجب حذف ستون‌های کناری و در نتیجه نفوذ هوا از آنجا می‌شود. شکل بدنه برای نصب در پشت بام مناسب است.



شکل ۶- یک قالب‌گیری پلاستیکی با استفاده از پرس که دیگر کولرهای آن تولید نمی‌شود. این قالب‌گیری‌ها در ظرف چند ثانیه ساخته شده و با استفاده از اتصالات فولادی آماده مونتاژ می‌شدند. این کولر ارتعاشات را جذب کرده و بسیار کم صداتر هستند.

کولرهای فایبرگلاس

استحکام، دوام و مقاومت در برابر خوردگی کولرهای فایبرگلاس تعداد محدودی از سازندگان را به تکاپو انداخته است. یک سازنده کوچک در کالیفرنیا، قسمت فوقانی و تشت کولر گرد با تخلیه فروباد را از طریق فرآیند پاشش مکانیکی می‌سازد. قالب‌های این قسمت‌ها به صورت صیقلی و گنبدی شکل و از جنس فولاد هستند. قسمت فوقانی کولر از طریق پاشش یک ماده پلاستیکی سفید (به نام gel-coats) شکل داده شده تا سطوح سخت و صافی را ایجاد کرده و سپس با رزین مایع آغشته از فایبرگلاس خرد شده پوشش داده می‌شود تا ضخامت حدود $\frac{1}{8}$ اینچ (۶/۴ mm) به وجود بیاید.

تشت این کولر، که مجرای تخلیه فروباد در آن قرار دارد، در قالب مشابهی تحت فرآیند پاشش افشانه قرار گرفته به طوری که کانال عمودی در آن ایجاد می‌شود تا دمنده، شیر شناور، بست‌های پمپ و اتصالات تخلیه آب را در خود نگه دارد. وقتی رزین سفت می‌شود، تمام اجزا به صورت سخت و صلب به هم پیوند خورده و با خارج کردن تشت از قالب بر روی کولرهای گرد سقفی سوار می‌شوند.

مدل‌های اولیه از پدهای پوشالی استفاده می‌کردند که دوغاب نازکی از سیمان و آب روی آن را سفت می‌کرد. کولرهای بعدی دارای دیواره‌های حلقوی از سلولز بودند که حول دواپری از میله‌های عمودی پیچیده می‌شدند که تکیه گاه سقف کولر هستند. برای دسترسی به دمنده، پمپ و داخل کولر سقف کولر برداشته می‌شود. این کولرها کمی کوتاه‌تر و پهن‌تر از کولرهای معمول بوده و دارای خروجی اسمی ۳۰۰۰، ۴۴۰۰ و ۵۵۰۰ (۱/۴، ۲/۱، و ۲/۶ m³/s) است. برای پدهای پوشالی نیز قاب‌های نگهدارنده پد موجود است.

یک سازنده در آرکانزاس کولرهای فایبرگلاس گرد و بیضوی مشابهی را می‌سازد. نوع گرد آن دارای سقف تخت مخروطی باز شونده‌ای است و قسمت زیرین آن در قسمت طوقه، توسط یک حلقه سیمی توری دانه درشت دارای روکش PVC، جدا می‌شود. در داخل این کولرها، لایه‌های حلقوی نازکی از فیلتر گرد و خاک وجود دارد که مطابق با رنگ پشت بام خانه کاربر، رنگ بندی دارند.

این دستگاه‌ها از پدهای پوشالی پیوسته‌ای بهره می‌گیرند که توسط حلقه‌ای از لوله‌های پلاستیکی سوراخ داری که در بالا قرار داشته خیس شده و توسط سیم‌های مفتولی داخلی محکم می‌شوند. دمنده، پمپ و بقیه اجزا در داخل قرار دارند.

این کولرها دارای قطر ۴۸ اینچ (۱/۲ m) بوده و با ارتفاع‌های ۲۹ یا ۳۳ اینچ (۷۳/۷ یا ۸۳/۸ cm)، دمنده‌های $\frac{1}{3}$ ، $\frac{1}{2}$ یا $\frac{3}{4}$ اسب و به صورت‌های یک سرعتی و دو سرعتی موجود بوده و بین ۲۷۳۵ تا ۶۶۰۰ (۱/۳ تا ۳/۱ m³/s) تحویل می‌دهند. همچون همتای کالیفرنایی، این کولر نیز کارایی خوبی

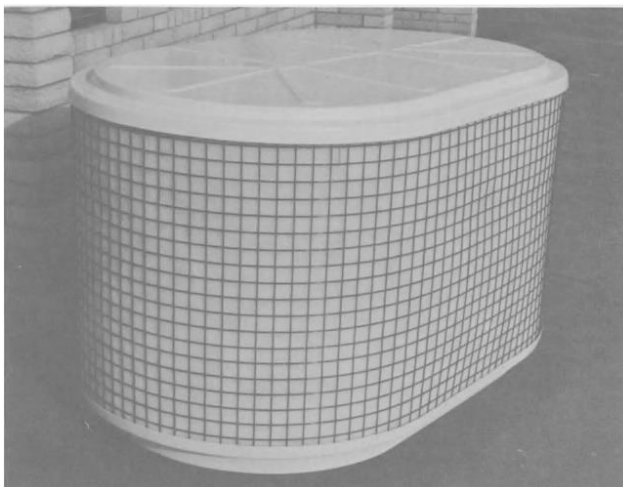
دارد. هوا از طریق سطوح محیطی وارد شده و به نظر می‌رسد که خوردگی محال است. فایبرگلاس صدای دمنده را خفه کرده و فیلترهای گرد و خاک هوای شسته شده پاک‌تری را تحویل می‌دهند(به شکل‌های ۷ و ۸ این فصل مراجعه کنید).

کولرهای بیضوی نیز به طریق مشابه ساخته شده و طول ۸۱ اینچ، عرض ۵۲/۵ اینچ و ارتفاع ۴۷ اینچ دارند(۲/۰۶ در ۱/۳۳ در ۱/۱۹ متر). با استفاده از دمنده‌های ۱، ۱/۵، ۲ یا ۳ اسب و دو پمپ این کولرها بین ۸۲۴۵ تا ۱۳۲۷۰ cfm (۳/۹ تا ۶/۳ m³/s) هوای شسته شده را تحویل می‌دهند.

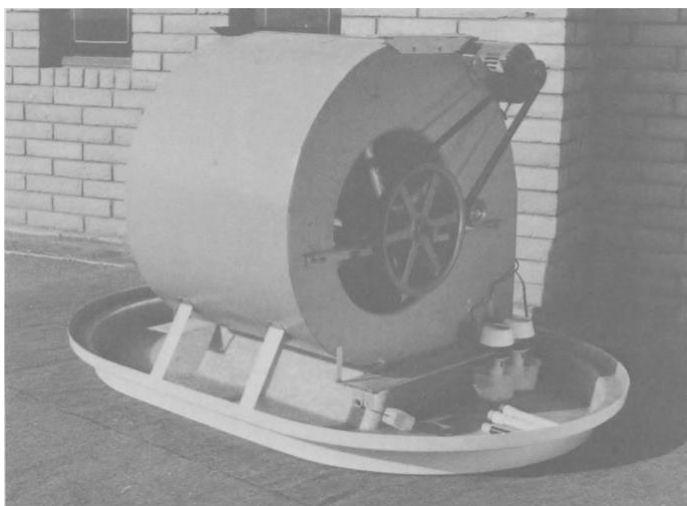
کولرهای استرالیایی از مواد مرکب^۱

صنایع Bonaire Pyrox در شهر سالیسبوری ایالت استرالیای جنوبی در ۱۵ ظرفیت بین ۴۱۰۰ و ۲۴۰۰ cfm (۱۱۶ و ۶۷۹ m³/min). و با استفاده از سه نوع بدنه استاندارد تقریباً مکعبی از جنس آلومینیوم مورد استفاده در صنایع دریایی یا فولاد زنگ نزن، چهار اندازه فن، هفت اندازه موتور و چهار اندازه پمپ، کولرهای با دمنده معمولی را می‌سازد. تمام این کولرها دارای قاب نگهدارنده پد از جنس پلی پروپیلن مقاوم در برابر خورشید هستند که به صورت تزریقی قالب‌گیری شده و ناودانی‌های آب و کرکره ورود هوا در آن‌ها تعبیه شده‌است. تشت کولر و محفظه دمنده از پلاستیک ABS فرم‌دهی شده به طریق خلایی هستند. تمام این کولرها دارای شیر برقی هستند که رسوبات را به همراه آب، دور ریز می‌کند. این شیرهای با گلوبی گشاد را می‌توان به صورت دستی، یا به صورت زمان‌بندی شده در قبل از راه‌اندازی، یا به صورت خودکار در بعد و متناوباً در طی کارکرد کولر، باز و بسته کرد. سویچ‌های با تاخیر زمانی از خالی شدن تشت تا سطح زیر پمپ جلوگیری کرده، در نتیجه وقفه‌ای در سرمایش ایجاد نمی‌شود. در عین حال، فیلترهای توری که پمپ را احاطه کرده‌اند در هر زمانی که آب جبرانی از شیرهای شناور به روی آن‌ها تخلیه می‌شود شسته می‌شوند.

همچنین، شیرهای شناور آب جبرانی تازه را در مجاور ورودی پمپ رها می‌کنند تا خالص‌ترین و بهترین آب کلردار، از نظر تاخیر در تشکیل رسوب و جلبک، را به پدها تحویل دهند(به شکل ۲ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۷- یک کولر فایبرگلاس با تخلیه فروباد و نام تجاری Essick. تشت و سقف(قسمت فوقانی) کولر توسط دو شبکه توری سیمی محیطی با روکش پلاستیکی از هم جدا شده‌اند. بین آن‌ها و در بیرون یک پد پوشالی پیوسته، یک فیلتر گرد و خاک پلاستیکی متخلخل به ضخامت $\frac{1}{4}$ اینچ (۶/۴ mm) قرار دارد. محیط بدون درز و گوشه و صاف این کولر موجب حذف نفوذ هوا شده و ظاهر کولر را زیباتر کرده و رنگ سفید بیرونی آن نیز موجب جذب گرمای خورشیدی می‌شود.



شکل ۸- درون کولر فایبرگلاس بیضوی Essick. به منظور حصول اطمینان از جریان یکنواخت در همه جا، پد بزرگ کولر توسط دو پمپ و از طریق لوله‌های سوراخ سوراخ محیطی تحت فشار، مرطوب نگه داشته می‌شوند. دمنده‌های خیلی بزرگ آن نویدبخش عملکرد اقتصادی بوده و تشت و سقف آن زنگ نزده و در صورت لزوم نیز شبکه توری به راحتی تعویض می‌شود.

این کولرها دارای مدل‌ها تخلیه از کف، جانب و حتی سقف خود هستند. پد آن‌ها پوشالی با بازده اشباع ۸۶ درصد در ۲۵۰ fpm (۱/۲۷ m/s) است ولی مقدار اسمی آن در حد ۸۰ درصد است. این کولرها از پشت توسط سیم‌های توری فولادی گالوانیزه با روکش پلی استر محافظت می‌شوند (به شکل ۹ این فصل مراجعه کنید).

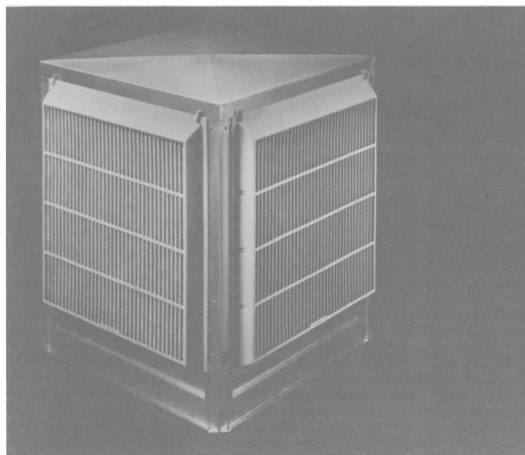
همین شرکت کولرهای پنجره‌ای جدید و خاصی را تولید کرده که پهن بوده و بدنه آن تنها ۱۰ in (۲۵/۴) ضخامت داشته و در زیر کانال تخلیه نصب شده و درست در مجاور دیوار قرار می‌گیرد. این کولرها که از جنس آلومینیوم مورد استفاده در صنایع دریایی هستند دارای مخزن آب پلاستیکی، پمپ، دور ریز از زیر، و قاب‌های نگهدارنده پد با قالب‌گیری تزریقی از جنس پلی پروپیلن مقاوم در برابر خورشید است که پشت آن را پوشش می‌دهد. نگهدارنده‌ها، کرکره‌ها را نگه داشته و از نشت هوای خشک به میزان زیادی جلوگیری می‌کنند.

پدهای پوشالی به صورت معمول توسط توری‌های سیمی و پلاستیکی محافظت می‌شوند. کولر فوق دارای یک موتور سه سرعت افقی است که دارای دو شفت است که مستقیماً دمنده‌های گریز از مرکز پلی پروپیلنی که بر روی دو انتهای شفت‌ها هستند را می‌گرداند. آن‌ها از طریق کانالی که به دیوار متصل است هوا را تخلیه کرده و دارای دریچه تیغه‌ای قابل تنظیم تزئینی پلاستیکی و کلیده‌ای عملکرد دستی بر روی سمت درون اتاق هستند. ظرفیت اسمی برای سه سرعت فن عبارت است از ۸۹۰، ۹۲۵ و ۱۷۲۴ cfm (۲۵/۲، ۲۶/۲ و ۴۸/۸ m³/s) (به شکل ۱۰ این فصل مراجعه کنید).

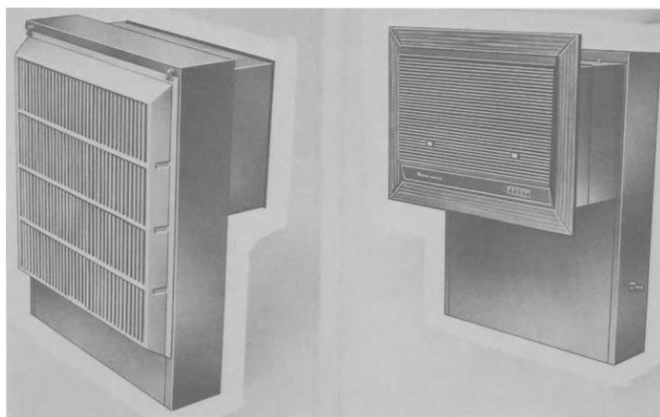
همچنین یک مدل دیگر به صورت کولرهای شش وجهه با تخلیه فروباد و فن محوری به جای فن گریز از مرکز است. این کولرها دارای ساختاری از فولاد زنگ نزن یا از جنس آلومینیوم مورد استفاده در صنایع دریایی، پایه‌های فن و اتصالات کانال از جنس آلومینیوم مزبور، قاب نگهدارنده پد و کرکره‌های از جنس پلی پروپیلن مقاوم در برابر خورشید و تشت آب پلاستیکی شکل دهی شده به طریق خلایی و محفظه فن است.

دو قاب نگهدارنده پد یک تکه هر یک دارای سه وجهه، با زاویه ۱۲۰ درجه از هم، هستند. پدهای پوشالی تکی که در گوشه‌ها خم شده‌اند توسط توسط توری‌های سیمی در پشت کرکره‌ها مهار می‌شوند. چنین ساختار واحد قاب نگهدارنده و پد موجب حذف اغلب هوای نفوذی خشک می‌شود. پدها کاملاً فن‌های محوری با شفت عمودی دو سرعت را احاطه کرده و پمپ و شیر شناور نیز در گوشه‌ها قرار می‌گیرند (به شکل‌های ۱۱ و ۱۲ این فصل مراجعه شود).

پروانه فن به قطر ۱۹ اینچ (۴۸/۲ cm) دارای چند پره ایرفویل (با مقطع دوکی شکل) نایلونی تقویت شده با شیشه است. این پروانه فشار کافی برای سیستم کانال کشی ساده را تامین کرده و با عایق سازی فن، موتور و حلقه‌های ورودی از بدنه و کانال سر و صدا را کاهش می‌دهد.



شکل ۹- کولر آبی دمنده‌دار معمولی با نام تجاری Bonaire. این کولرها از جنس آلومینیوم مورد استفاده در صنایع دریایی یا فولاد زنگ نزن هستند. قاب نگهدارنده پد از جنس پلی پروپیلن ، و تشت، بدنه پمپ و دیگر بخش‌های خیس از پلاستیک هستند. پدهای این کولر پوشالی است. این کولر در یازده ظرفیت و در مدل‌های تخلیه به جانب، پایین و یک مدل تخلیه از بالا موجود است. نشیمنگاه‌های قاب نگهدارنده پد موجب حداقل سازی نفوذ هوا می‌شوند. در آزمون‌های کلی عملکرد این کولر در حد دو درصد مقدار اسمی تغییر می‌نمود.



شکل ۱۰- کولر پنجره‌ای یا دیواری با نام تجاری Bonaire. این کولر از جنس آلومینیوم مورد استفاده در صنایع دریایی است و دارای یک دریچه و قاب نگهدارنده پلاستیکی، یک موتور سه سرعته دو محوره با دمنده‌های دوقلوی گریز از مرکز پلاستیکی و یک پد پوشالی در عقب است. بدنه آن تنها ۱۰ in (۲۵/۴ cm) نسبت به دیوار ضخامت داشته و کانال خروجی آن به صورت تلسکوپی با دیوارهای دارای ضخامت مختلف مطابقت می‌یابد.

کولر شش وجهی سقفی حاصل بسیار کم مصرف است. میزان خروجی آن بین ۲۶۵۰ و ۴۰۰۰ cfm و $(1/3)$ و $(1/9 \text{ m}^3/\text{s})$ است.

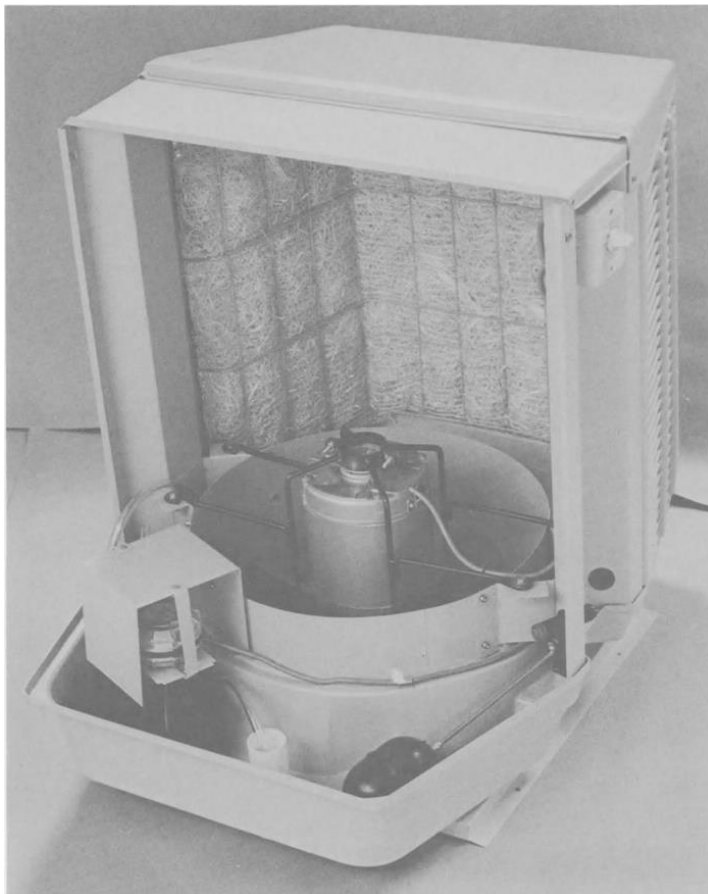
وقتی این کولر در سقف از طریق کانال‌های عمودی کاملاً بزرگ متصل می‌شود، هر کولر می‌تواند تا $10,076$ فوت مربع (100 m^2) مساحت اتاق را خنک کند. با توجه به وزن نسبتاً سبک، این کولرها را می‌توان بدون هیچ پایه خارجی بر روی کانال عمودی مربعی $21/7$ اینچی (55 cm) نصب کرد.

سازنده این کولر با توجه به موارد زیر به بزرگترین تامین کننده دستگاه‌های تهویه مطبوع در استرالیا تبدیل شده است (۱) تست تمام دستگاه‌ها برای تعیین عملکرد دقیق آن‌ها جهت فروش، (۲) تضمین کارکرد در محدوده دو درصد عملکرد اسمی، (۳) اجازه آزمون مجدد توسط آزمایشگاه‌های مستقل، (۴) تهیه داده‌های دقیق سطح صدا (که در مقایسه با معیار ایالات متحده پایین تر است).

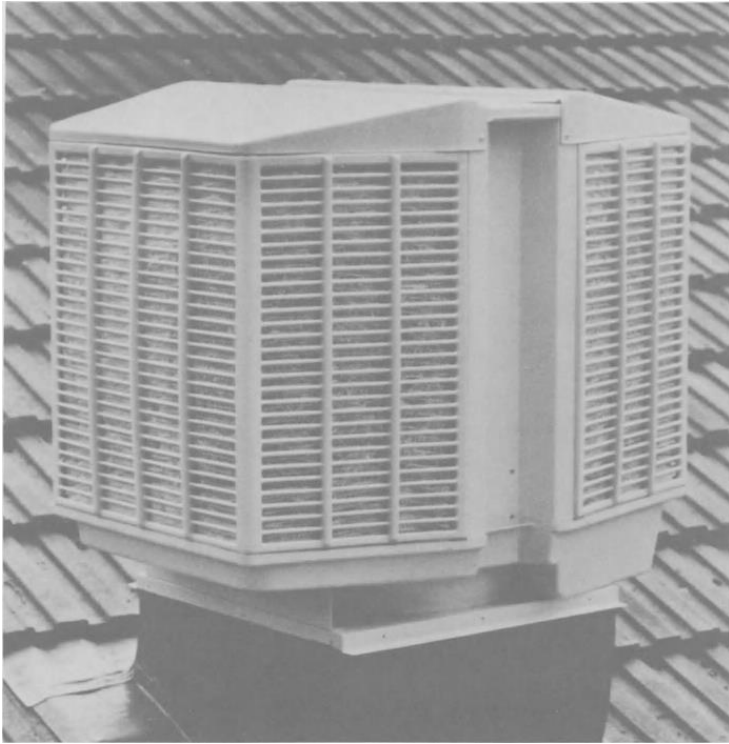
داده‌های اغراق آمیز عملکرد در ایالات متحده

یک مشکل اخلاقی بر حوزه‌های تهویه مطبوع در ایالات متحده و شاید اغلب صنعت کولر آبی سایه انداخته است: خروجی کولرها در تبلیغات اغراق آمیز ذکر می‌شود. از آنجا که کولرهای آبی اولیه و سازندگان مربوط قادر به آزمون خروجی کولرها نبودند آن‌ها $(\text{m}^3/\text{s})\text{cfm}$ فن را به عنوان عملکرد کولر در نظر می‌گرفتند. بدین ترتیب از مقاومت هوا در کرکره‌ها، پدها، اتصالات و نگهدارنده‌های پد، چشم پوشی شده و مقدار بیش از اندازه اعلام می‌شد. رقابت موجب تداوم این امر شد و این امر امروزه نیز به صورت گسترده‌ای انجام شده و آن چه که در متون در مورد حجم خروجی تعدادی از مدل‌های کولر می‌آید به همان صورتی است که فروشندگان کم سواد و سوداگر به مصرف کنندگان می‌گویند.

کاتالوگ‌ها و متون اغلب سازندگان به مهندسان، معماران و خریداران متبخر، جدولی از خروجی تایید شده کولرها را در طی مقاومت‌های خارجی متفاوت، به صورت زیر، ارائه می‌دهند. این کار انجام شده و هیچ نیت اخلاقی برای ستون ساختگی سمت چپ با عنوان "اسمی"، "حداکثر"، "هوای آزاد"، "استاندارد صنعتی" و غیره وجود ندارد. در صورت نیاز به مقدار اسمی برای شناسایی کولرها، به نظر می‌رسد که مقدار گرد شده خروجی تایید شده در طی مقاومت صفر ایده‌آل است.



شکل ۱۱- داخل یک کولر شش طرفه با تخلیه فروباد و نام تجاری Bonaire. پایه تقریباً شش ضلعی کولر حامل قاب نگهدارنده پد پلاستیکی سه طرفه یک تکه است که یکی از آن‌ها برای مشاهده داخل کولر برداشته شده است. توجه کنید که پد پوشالی خم شده بدون شکاف‌های گوشه است که اجازه نشت هوای خشک را می‌دهد. یک فن هشت پره محوری با رانش مستقیم، هوای کولر را از مرکز کولر به سمت پایین و به یک کانال تقریباً هم اندازه دایروی می‌دمد. موتور پمپ (سمت چپ) در برابر افشانه احتمالی محافظت می‌شود. لوله دور ریز جریان اضافی را از یک لوله عمودی خارج می‌سازد (وسط). شیر شناور در سمت راست، آب تازه را به قسمت ورودی پمپ می‌دهد توجه کنید که موتور فن به چه نحوی نصب شده تا موجب کاهش انتقال سر و صدا به کانال زیر خود بشود.



شکل ۱۲- کولر شش وجهی استرالیایی Bonaire در حالت نصب شده. این طرح مرکب (کامپوزیت) برای بخش‌های خیس از پلاستیک و برای بخش‌های خشک از فولاد گالوانیزه استفاده می‌کند. حوضچه پلاستیکی (سمت راست-پایین) موجب معلق ماندن رسوبات به منظور تخلیه بهتر دور ریز می‌شود. آب جبرانی تازه ورودی پمپ موجب رقیق سازی و کلردهی به آب پد شده تا میزان رسوب و جلبک کاهش یابد.

برای تایید و صدور گواهینامه، بیشتر از استانداردهای AMCA و تجهیزات آزمون بزرگترین کارخانه فونیکس استفاده می‌شود. کولرهای تا خروجی ۲۰,۰۰۰ cfm (۹/۴ m³/s) را می‌توان، با درج توان و بازده فن، در برابر مقاومت کانال صفر تا ۸ اینچ جیوه (صفر تا ۱۹۹۲ پاسکال) تست کرد. دانشگاه‌ها و بعضی مراکز آزمون، برخی از کولرها را گواهی و تایید کرده‌اند. مولف این کتاب سه کولر را که برای چنین مقاصدی مورد نظر بودند را در دانشگاه تگزاس مورد آزمون قرار داده‌است.

عدم توافق بین خروجی اسمی و خروجی تایید شده آموزنده است. خروجی اسمی کولرهای خاصی از سه سازنده به صورت تصادفی در نظر گرفته شد که ظرفیت گواهی شده آن‌ها در مقاومت‌های استاتیک مختلف از قرار زیر است:

خروجی اسمی	میزان هوای تحویلی تایید شده بر حسب مقاومت					
	مقاومت بر حسب ستون آب					
	0.0 in. (0.0 Pa)	0.1 in. (25 Pa)	0.2 in. (50 Pa)	0.3 in. (75 Pa)	0.4 in. (199 Pa)	0.5 in. (124 Pa)
6,500 cfm (3.1) m ³ /s	5275 (2.5)	5050 (2.4)	4800 (2.3)	4500 (2.1)	4200 (2.0)	3900 (1.8)
14,000 (6.6)	9950 (4.7)	9420 (4.4)	8680 (4.1)	8040 (3.8)	7450 (3.5)	6520 (3.1)
30,000 (14.2)	21,300 (10.1)	18,744 (8.8)	18,300 (8.6)	17,800 (8.4)	17,400 (8.2)	17,000 (8.0)

به صورت میانگین، مقادیر کاتالوگ می‌گویند که خروجی‌های اسمی چاپ شده به میزان ۲۸ درصد با مقدار مربوط به مقاومت استاتیک صفر اختلاف داشته و نسبت به مقاومت ۰/۱ اینچ آب (۲۵ Pa) ۳۴ درصد و نسبت به مقاومت ۰/۲ اینچ آب (۵۰ Pa) ۳۷ درصد کمتر است. دو مقدار آخر برای تلفات استاتیک در کانال‌کشی‌های ساده مقادیر رایجی هستند. در برابر مقاومت ۰/۵ اینچ آب (۱۲۴ Pa) تفاوت در بازده حجمی خروجی ۴۶ درصد است. هیچ واحد صنعتی تمایل ندارد که با این میزان تفاوت موجبات ناراحتی مشتریان خود را فراهم کند.

کنترل‌ها

کنترل‌های کولرهای آبی ابتدایی هستند. کولرهای پنجره‌ای بدون پمپ معمولاً دارای کلیدهای فن و شیرهای آب دستی کوچکی در شبکه جلوی خود هستند. کولرهای بدون پمپ دیگری که در فاصله دورتر نصب می‌شوند دارای دو کلید و یک شیر برقی هستند.

کولرهای دارای پمپ گردشی دارای کلیدهای جداگانه برای پمپ و فن هستند تا امکان استفاده از فن آن در حالت خشک نیز باشد. در اندازه‌های زیر حدود یک اسب، کلیدهای فن چند سرعتی می‌توانند دو، سه یا گاه چهار خروجی مختلف برای هوای شسته شده باشند هر چند به نظر معمولاً کاربران کمتر از دور کند استفاده می‌کنند. کولرهای پنجره‌ای و دیواری دارای دریچه‌های خروجی با تیغه قابل تنظیم برای هوای شسته شده هستند.

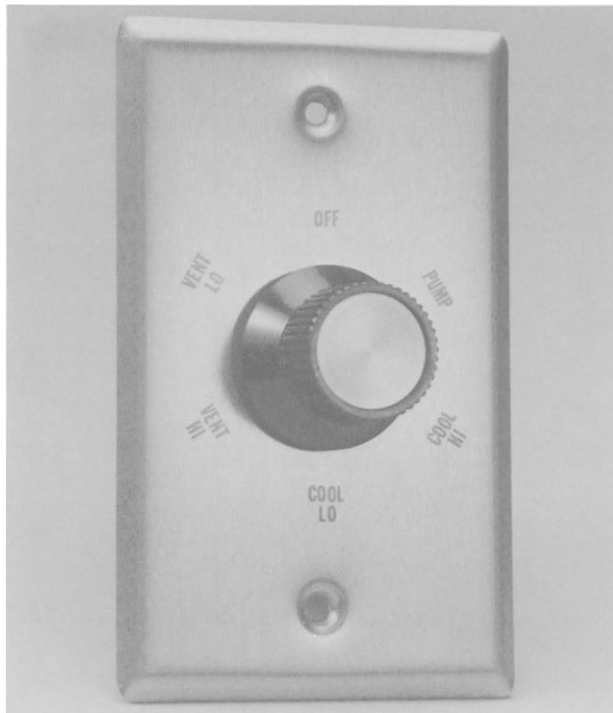
از ترموستات کمتر در کولرها استفاده می‌شود. اغلب از ترموستات در سیستم‌های کانال‌کشی شده یا مهندسی استفاده می‌شود. آن‌ها اغلب، برای واحدهای تا یک اسب بخار، دارای ولتاژ خطی و برای دستگاه‌های بزرگتر، دارای ولتاژ پایین عمل‌کننده از طریق رله هستند. برخی از آن‌ها، همچون کاربردهای سرمایشی-گرمایشی، دارای رطوبت‌ساز یا عملکرد پیچیده‌ای غیر از مدارات تنظیم دما هستند.

اغلب آن‌ها صرفاً دارای سیکل روشن-خاموش برای منبع توان خود بوده تا پمپ و فن یا، در مقاصد هوادهی، تنها فن را به کار ببندازند. معمولاً جعبه کلید آن‌ها دارای کلیدهایی برای سرعت فن، خاموش کردن پمپ در مقاصد هوادهی، و همچنین پیش خیس سازی پدها قبل از شروع به کار فن (به منظور جلوگیری از دمش باد داغ و بو) و روشن-خاموش سیستم است (به شکل ۱۳ این فصل مراجعه کنید).

به نظر می‌رسد که سازندگان، از نظر کنترل‌های الکترونیکی و کامپیوتری فراوانی که در محصولات دیگر وجود دارد، هیچ دیدگاهی ندارند. اغلب گفته می‌شود که مزیت بزرگ سرمایه‌ش برودتی هوا نسبت به سرمایه‌ش تبخیری در تحویل سطح ثابتی از آسایش است. در صورتی که این گفته صحیح باشد در آن صورت سازندگان کولرهای تبخیری باید کنترل‌های جدیدی برای کمک به عملکرد مناسب سیستم خود در نظر بگیرند. در فصل ۱۵، کنترل‌های اتوماتیک پیچیده‌ای برای سرمایه‌ش تبخیری مورد استفاده در دامداری‌ها، گاوداری‌ها، انبارها، مرغداری‌ها و گلخانه‌ها معرفی می‌شود. انسان‌ها نیز شایسته روش‌های معادل هستند.

کنترل‌های ایده‌آل کولر آبی

به صورت ویژه، سازندگان می‌توانند جعبه کلیدهایی طراحی کنند که همزمان کنترل ترموستاتی و رطوبتی را بر عهده داشته تا گامی در جهت کنترل اتوماتیک برداشته شود. برای مثال، ترموستات‌های دو مرحله‌ای می‌توانند به صورت خودکار بین حالات خاموش، سرعت کم فن و سرعت بالای فن در راستای سرمایه‌ش یا هوارسانی عمل کنند. در طی هر بار شروع به کار برای سرمایه‌ش، پمپ به مدت یک تا دو دقیقه پدها را خیس کرده و در همان زمان یک رله تاخیری مانع از کارکرد فن می‌شود و در موقع کار نیز، در هنگام نیاز به محدود سازی میزان دم هوای داخل در موقع بالا بودن رطوبت هوای بیرون، رطوبت‌زن می‌تواند پمپ را خاموش کند.



شکل ۱۳- صفحه رویی کنترل یک کولر آبی با نام تجاری Essick. یک دکمه تکی وقتی در جهت ساعتگرد حرکت می‌کند در ابتدا موجب خیس شدن پدها در قبل از راه اندازی فن می‌شود تا جلبک‌ها و فساد احتمالی پد توسط لایه‌ای از آب پوشیده شده و مانع از فرار بو به داخل هوای شسته شده بشود. با گرداندن بیشتر این دکمه دو سرعت فن برای سرمایش ایجاد شده و همچنین دو مرحله دیگر نیز وجود دارد که طی آن پمپ خاموش بوده و در حالی که پد خشک است تنها هوارسانی می‌شود. هیچ ترموستاتی در این کنترل وجود ندارد.

در نهایت، کنترل‌های اتوماتیک دقیق‌تر می‌تواند با قیمت ارزان، به میزان حداقل ۵۰ درصد، موجب طولیل‌تر شدن عمر پد در هوای پر گرد و خاک و آب با سختی زیاد شود. در زمان خاموشی کولر، شیر تخلیه آب باید سریعاً و به صورت کامل تشت را تخلیه کرده و سپس بسته شده تا شیر شناور مجدداً تشت را با آب تازه پر کند. سپس در حالی که فن خاموش است، پمپ به تنهایی شروع به کار کرده و به مدت سه دقیقه عمل می‌کند تا توسط آب تمیز، پدها را کاملاً از آب حاوی رسوبات شسته و تمام جلبک‌ها و فسادگی که موجب تولید باکتری می‌شود در معرض کلر تازه قرار گیرد. سپس شیر تخلیه آب مجدداً باز شده و تشت مجدداً برای استفاده آبی پر می‌شود.

این روال شستن کولر مانع از روشن شدن سریع و مجدد کولر نمی‌شود. بلافاصله پس از پر شدن مجدد تشت و شروع به کار پمپ، فن کولر را می‌توان به کار انداخت. همچنین اگر کولر برای بیش از

۳۰ دقیقه خاموش شود (مثل شبانگاه)، روال فوق می‌تواند تکرار شود. در آن صورت راه اندازی در روز بعد لزوماً با آب تازه خواهد بود.

برای استفاده از آب جبرانی تازه از طریق شیر شناور، در حین باز بودن شیر تخلیه، این آب به سمت سبد احاطه کننده پمپ تخلیه شده و آن را با استفاده از روش Bonaire که قبلاً گفته شد با شدت پس شویی^۱ می‌کند. در طی کارکرد عادی کولر، تغذیه آب جبرانی تازه به سمت ورودی پمپ موجب اطمینان از دریافت مستمر آب کم املاح و کلردار توسط پدها می‌شود. طبیعی است که رویه تخلیه، شستن و پس شویی مکمل و نه جایگزین روش دور ریز است. در ساعات گرمی که کولر را نمی‌توان خاموش کرد و نرخ تبخیر نیز بالا و غلظت رسوبات تشت زیاد است، دور ریزی ضروری است.

در مقابل، این روال جدید برای ساعات خاموشی است تا از رسوب درون آب سنگین بر روی پدها و گرفتگی تدریجی آن‌ها جلوگیری شده و کلر موجود به صورت مستقیم بر جلبک‌ها و ارگانسیم‌های احتمالی ایجاد کننده فساد عمل کند. این روش در ساعات خنکی، که کارکرد کولر متناوب است، و در هنگام خاموشی شبانه بهتر عمل کرده ولی باید به منظور صرفه جویی در آب، مقدار دور ریز به میزان زیادی کاهش یابد.

اتصالات خورشیدی

بسیاری از منازل و شرکت‌ها دور از مراکز برق قرار دارند. هزینه اتصال سیم‌های برق می‌تواند تا ۲۰ هزار دلار در هر مایل برسد در نتیجه بسیاری از پانل‌های فتوولتائیک استفاده کرده و از نور خورشید برای روشنایی، تلویزیون، قهوه ساز، یخچال، تامین آب و غیره استفاده می‌کنند اگر چه هزینه کلی تقریباً ۱۰ برابر هزینه‌های شهری است.

حداقل ۶۰ قلم وسیله خانگی و اداری رایج برای کار با برق مستقیم ۱۲ ولت خورشیدی ساخته شده‌اند. اگر برق خورشیدی به ۱۲۰ ولت متناوب تبدیل شود تعداد دستگاه‌های برقی قابل اتصال نامحدود می‌شود.

پانل‌های فتوولتائیک از اندازه ۱۰ وات تا ۱۵۰ وات هستند. با اتصال چند تایی آن‌ها و نصب در پشت بام، به صورت رو به جنوب، آن‌ها می‌توانند به دو روش به کولرهای تبخیری برق رسانی کنند. آن‌ها می‌توانند سیستم‌های چندکاره‌ای که کولر تبخیری به آن متصل است را تغذیه کرده یا این که کولرها دارای پانل مستقل باشند. کولرها می‌توانند استاندارد یا ۱۲ ولت مستقیم باشند.

دم دستی‌ترین پانل‌ها در ابعاد ۴ فوت در ۱۲ یا ۱۸ اینچ (۱۲۲ در ۳۰/۵ یا ۴۵/۷ سانتی‌متر) و با ضخامت ۰/۵ تا ۱/۵ اینچ (۳/۸ تا ۳/۸ cm) بوده و سطح آن‌ها شیشه‌ای است. این مدول‌ها بین ۳۵ تا ۵۵ وات توان داده و به سادگی بر روی چارچوب (قاب) قابل نصب بوده تا آرایه‌ای مناسب را برای غالب بار الکتریکی ایجاد کنند. در سیستم‌های چند کاربره، آرایه‌ها اکثراً با دست تنظیم شده تا حداکثر دریافت خورشیدی در فصل به دست آید. آرایه‌های مربوط به سرمایه‌ش خالص، در روزهای گرم تابستانی، دارای زاویه تخت‌تری است. عمر پانل‌ها ۱۰ الی ۱۵ سال و حتی بیشتر است.

پانل‌های تکی حاوی ۳۰ تا ۴۰ سلول خورشیدی به قطر ۴ اینچ (۱۰/۲ cm) بوده و بر حسب شدت تابش خورشید ولتاژ ۱۴ تا ۱۶ ولت را داده و توان حاصل نیز ۴۰ تا ۵۵ وات است. به منظور ذخیره-سازی برق در باتری‌های ۱۲ ولت، جهت تغذیه بار و اطمینان از کارکرد در ایام ابری و طی شب، تعدادی از این پانل‌ها را می‌توان به صورت موازی به هم متصل کرد. این چیدمان موجب تضمین کارکرد چراغ‌ها و موتورها در هنگام کاهش شدت نور خورشید می‌شود.

استفاده از باتری اتمبیل در اینجا غیراقتصادی بوده و قیمت اولیه پایین آن، جبران‌کننده خرابی سریع آن نمی‌شود. بهتر است از باتری قایق، خودروهای تفریحی، خودروی مورد استفاده در ورزش گلف^۱ و لیفت تراک، که برای استفاده مکرر و پایدار کم‌چرخه^۲ طراحی شده، استفاده کرد.

باتری‌ها باید دارای ظرفیت آمپر ساعت کافی باشند تا از تخلیه بیش از ۴۰ درصد در هر زمان جلوگیری شود، زیرا تخلیه بیشتر می‌تواند موجب آسیب شود. مجموعه باتری‌ها باید بزرگتر از ظرفیت در نظر گرفته شود تا تقریباً ۳۰ درصد تلفات تخلیه ناشی از نشتی داخلی و مقاومت سیم‌ها تحت پوشش قرار گیرد. در حالی که برای کاربردهای عمومی و روشنایی، ظرفیت ذخیره سیستم‌های فتوولتائیک حدود ۱۰ برابر میزان آمپر-ساعت بار روزانه باشد تا سه روز ذخیره مفید داشته باشد، در سیستم‌های کولر به میزان کمتری نیاز است و اغلب روزهای ابری موجب کاهش تعداد ساعت کارکرد آن می‌شود. تنها از طریق تجربه می‌توان ظرفیت ذخیره را برای کاربردهای جدید تعیین کرد.

علاوه بر کلیدها (سوییچ‌ها) و فیوزها، دو کنترل‌کننده معمول است: "دیود مسدودکننده"^۳ برای جلوگیری از تخلیه باتری‌ها از طریق پانل در هنگام شب و "تنظیم‌کننده (رگولاتور) ولتاژ" برای جلوگیری از شارژ اضافی در هنگام کاهش بار در طی تابش خورشید.

1- Golf cart
2- Low cycling
3- Blocking diode

در صورت نیاز به بار معین یا وقتی اتصال باتری به بار از طریق سیم‌های طولی است، مبدل‌های^۱ خاصی برق ۱۲ volt DC را به ۱۲۰ volt AC تبدیل می‌کنند. در نتیجه اغلب سیستم‌های چند منظوره بزرگ و بارهای نزدیک و معمول می‌توانند از برق ۱۲ volt DC استفاده کرده و بارهای دورتر نیز از ۱۲۰ volt AC بهره بگیرند. کولرهای تبخیری نیز در این راه می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند. به دلیل وجود باتری و مبدل، در صورت تغییر شدت تابش خورشیدی، ولتاژ ورودی و فرکانس تنظیمی کولر و تغییرات دور پمپ و فن دچار نوسان اندکی می‌شود.

کولرهای آبی خورشیدی

یک سازنده در هالیوود شمالی ایالت کالیفرنیا، در چند اندازه مختلف، سیستم‌های کولر آبی و پانل خورشیدی مستقلی را به فروش می‌رساند. این کولر از نوع فن‌دار با ظرفیت اسمی ۱۲۰۰ (۳۴ m³/min) و با پانل دارای ۳۳ سلول خورشیدی است که در صورت نصب مناسب ۷۰ وات توان تولید کرده و دارای دو باتری ذخیره کننده ۱۲ ولت نیز می‌باشد.

یک نوع دیگر این کولر با ظرفیت اسمی ۱۸۰۰ cfm (۵۱ m³/min) دارای پانلی با ۳۰ سلول خورشیدی با توان ۱۰۰ وات و سه باتری است.

همان گونه که قبلاً ذکر شد، کولرهای فن‌دار توان کمتری نسبت به کولرهای دمنده‌دار مصرف می‌کنند ولی فشار کمی در سیستم کانال‌کشی به وجود می‌آورند. در اینجا کولرهای دمنده‌دار معمولی با تخلیه افقی به ظرفیت اسمی ۵۵۰۰ cfm (۲/۶ m³/s) استفاده می‌شوند که ظرفیت آن‌ها در هنگام استفاده از آرایه‌ای از پانل‌های خورشیدی و باتری با توان ۴۵۵ وات، دارای ظرفیت تایید شده ۲۸۶۰ cfm (۱/۳ m³/s) در فشار استاتیک نیم اینچ آب (۱۲۵ Pa) است.

در حالت کولر با تخلیه فروباد، این شرکت کولرهای گرد فایبرگلاسی را که قبلاً به آن اشاره شد را می‌سازد که ۵۲ اینچ (۱/۳ m) قطر و ۴۲ اینچ (۱/۱ m) ارتفاع دارند. آن‌ها به صورت محیطی دارای پد سلولزی بوده و به توان پانل ۳۲۰ وات نیاز دارند. ظرفیت اسمی آن‌ها ۵۰۰۰ cfm (۱/۳ m³/s) است (دیگر کولرهای با توان خورشیدی در فصول ۸، ۱۴ و ۲۱ بررسی می‌شوند).

معافیت مالیاتی سیستم‌های خورشیدی

متأسفانه پانل‌های فتو ولتائیک گران بوده و در سال ۱۹۸۳ دارای قیمت ۸ تا ۱۰ دلار به ازای هر وات بوده و طبعاً در حال حاضر ارزان‌تر هستند. کاهش قیمت زیادی برای آن‌ها قول داده شده ولی مستلزم

زمان طولانی است. باتری‌ها، مبدل‌ها، کنترل‌ها و نصب پانل موجب افزایش قیمت می‌شود. دولت کارتر برای تشویق توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر معافیت مالیاتی را آغاز کرد. این دولت اجازه دادنکه ۴۰ درصد از هزینه ۱۰۰۰۰ دلار اولیه تجهیزات خورشیدی، انرژی بادی یا زمین گرمایی در کاربردهای خانگی از بدهی مالیاتی کسر شود. بسیاری از ساختمان‌های تجاری مستوجب ۱۰ درصد معافیت مالیاتی سرمایه گذاری دولت فدرال یا ۱۰ تا ۱۵ درصد معافیت مالیاتی انرژی تجاری بوده و برخی نیز واجد شرایط هر دو هستند که بیشتر شامل اولین ۲۵,۰۰۰ دلار سرمایه‌گذاری شده می‌شود. به علاوه، در بسیاری ایالات کسورات و معافیت‌های دیگری وجود دارد در نتیجه قیمت برخی مجموعه‌های کولر ۵۰ تا ۷۰ درصد کسر می‌شود.

متاسفانه در انتهای سال ۱۹۸۵، معافیت مالی IRD منقضی شد. علیرغم اعتراضات، دولت رییس جمهور وقت (رونالد ریگان) با تجدید آن مخالفت کرد. البته ممکن است روسای جمهور بعدی این معافیت را احیا کنند.

پرسش‌های دوره‌ای

۱. چرا پدهای پوشالی شکم داده و فرو می‌نشینند؟ چه مشکلاتی بروز می‌کند؟ راه حل آن چیست؟
۲. فرق بین رسوب پوسته‌ای و گرفتگی پد چیست؟ چگونه گرد و خاک و رسوبات موجب گرفتگی می‌شوند؟
۳. چگونه گرفتگی می‌تواند در برخی مواقع موجب پاشش آب برخوردکننده به پد بر روی فن، پمپ، موتور و غیره شود؟
۴. آیا از فیلترهای گرد و خاک در کولرهای آبی استفاده می‌شود؟ چگونه؟
۵. اگر گرفتگی پدهای پوشالی به سرعت در یک ناحیه رخ دهد چه جنس پدی باید به جای آن استفاده کرد؟
۶. دور ریز چیست؟ چه کار می‌کند؟ چرا به آن نیاز است؟
۷. چه نرخ دور ریزی غلظت مواد معدنی را در اب تشت تا حدود دو برابر آب تازه محدود می‌کند؟ تا حد سه برابر چه؟
۸. چگونه مواد افزودنی شیمیایی میزان تجمع رسوب در کولر را کاهش می‌دهند؟ کاهش نرخ دور ریز چه؟ چه خطراتی اغلب ایجاد می‌شود؟ معمولاً کی؟ شرح دهید.
۹. چرا نرم کردن آب موجب جلوگیری از رسوب نمی‌شود؟ چه عملی انجام می‌دهد؟ آیا می‌تواند مضر باشد؟ چرا؟
۱۰. در چه موقعی باید تصفیه شیمیایی آب را برای تاسیسات سرمایش تبخیری در نظر گرفت؟ در چه موقعی مطلقاً نباید؟
۱۱. خریداران کولر در کجا می‌توانند در مورد نرخ دور ریز و افزودنی‌های شیمیایی برای وضعیت آب محلی توصیه دریافت کنند؟ توصیه رسمی؟ توصیه غیر رسمی، کاربردی؟
۱۲. چرا دور ریز کافی به تنهایی قادر به جلوگیری از بروز جلبک است؟ چرا در مورد فساد باکتریایی این طور نیست؟ چه ماده افزودنی رایجی، اگر به میزان کافی موجود باشد، برای هر دو مورد مفید است؟
۱۳. دو منبع بو در کولرهای آبی را نام ببرید. چرا معمولاً بو ایجاد می‌شود؟ چه چیزی می‌تواند تقریباً بلافاصله بو را متوقف کند؟
۱۴. سه قسمت کولر آبی که مطلقاً لازم است گالوانیزه یا از دیگر جنس‌های مقاوم در برابر خوردگی باشند چیستند؟ چگونه می‌توان از خوردگی الکترولیتی جلوگیری کرد؟
۱۵. ویژگی خاص خود تمیز شوندگی یکی از برندهای کولرهای فولادی زنگ نزن چیست؟

۱۶. برای اطمینان از عمر طولانی، چه مراقبتی در کولرهای فولادی گالوانیزه لازم است؟ چه قسمت فلزی بیشتر مستلزم تعویض است؟
۱۷. در کنار مقاومت در برابر خوردگی، کولرهای آبی پلاستیکی با قالب‌گیری به طریق تحت فشار، چه مزیتی برای صاحب خود دارند؟ برای سازنده خود چه؟
۱۸. در ساختار فایبرگلاس چه شکل‌های غیر معمولی رایج هستند؟ روش ساخت آن چه تفاوتی با کولرهای با قالب‌گیری به طریق تحت فشار دارد؟ کدام یک به ماشینکاری و سرمایه‌گذاری کمتری نیاز دارد؟ کدام یک انعطاف پذیرتر و قابل انطباق‌تر است؟
۱۹. چه پد پوشالی سفتی در یک برند کولر فایبرگلاس استفاده می‌شود؟ چه فیلترهایی هوا را وارد می‌کنند؟ در یک برند دیگر چه چیزی موجب سفتی آن می‌شود؟
۲۰. شیر تخلیه که در کولرهای استرالیایی جایگزین دور ریز و پس شویی سبد پمپ می‌شود را شرح دهید.
۲۱. داستان پشت سر $(m^3/s)cfm$ خروجی عراق آمیز در ستون خاصی از متون فنی مربوط به کولرهای آبی را شرح دهید. چه چیزی موجب تداوم آن می‌شود؟
۲۲. داده‌های خروجی تایید شده که احتمالاً تحت عنوان آزمایشگاه فونیکس هستند چیستند؟ چه کس دیگری کولرهای آبی را تایید می‌کند؟
۲۳. چرا کنترل‌های سیستم کولر تبخیری اجازه می‌دهند که پمپ قبل از فن به صورت دستی راه اندازی شود؟ در مورد راه‌اندازی فن به تنهایی چه می‌گویید؟
۲۴. ویژگی‌های یک کنترل ایده‌آل اتوماتیک کولر تبخیری را شرح دهید.
۲۵. شرح دهید که چگونه کنترل‌های اتوماتیک و شیرهای تخلیه می‌توانند رسوبات و گرفتگی را به میزان زیادی کاهش دهند. شرح دهید که چگونه ویژگی پس شویی کولر استرالیایی به کاهش گرفتگی و همچنین جلبک و فساد کمک می‌کند.
۲۶. چگونه ممکن است با تولید برق خورشیدی، یک کولر DC ۱۲ volt و همچنین یک کولر استاندارد AC ۱۲۰ volt را در یک ساختمان را به کار برد؟ آیا طول سیم کشی بر روی انتخاب تاثیر گذار است؟ چگونه؟
۲۷. چرا پانل‌های فتوولتائیک نسبتاً کوچک بوده و معمولاً به صورت چند تایی یا ارایه استفاده می‌شوند؟ معمولاً آن‌ها در کجا نصب می‌شوند، با چه روشی؟ چرا زاویه آن‌ها نسبت به افق در برخی موارد قابل تنظیم است و در برخی موارد نیست؟ شرح دهید. به چه زاویه‌ای نسبت به افق نیاز است؟

۲۸. باتری‌ها به چه نیاز دارند؟ چرا باتری اتومبیل قابل استفاده نیست؟ شرح دهید. کدام یک ترجیح دارند؟ در سیستم‌های با کاربرد عمومی به چه ظرفیت باتری نیاز است؟ اختلاف ناشی از چیست؟

۲۹. در صورت دسترسی به برق شهری چرا کمتر از سیستم‌های فتوولتائیک استفاده می‌شود؟ چشم انداز آینده چنین سیستم‌هایی چیست؟ یارانه معافیت مالیات بر درآمدی که در دولت کارتر تصویب شده را شرح دهید. چه کسانی واجد شرایط آن بودند؟ صرفه جویی برای تاسیسات ساختمان‌های مسکونی تا چه میزانی است؟ برای اکثر ساختمان‌های تجاری چقدر است؟

فصل ۸

سایر کولرهای تبخیری کوچک

کولرهای مورد بحث در فصل قبل تا محدوده ۷/۵ hp، ۳۶،۰۰۰ cfm (۱۷ m³/s) و با نصب خارجی هستند. البته چهار کولر آبی متفاوت هستند: کولرهای قابل حمل (پرتابل)، کولرهای نقطه‌ای^۱، کولرهای پد- پنجره‌ای^۲ و کولرهای منقرض شده خودرو^۳. به علاوه، چند نمونه کولرهای کوچک در زیر مورد بررسی قرار می‌گیرند.

کولرهای آبی پرتابل

کولرهای آبی پرتابل تنها به صورت نسبی و جزئی تا حد رضایتبخش ایجاد سرمایه‌ش می‌کنند. آن‌ها اغلب به صورت داخل اتاق استفاده شده و در اتاق‌های کوچک آپارتمان‌ها، پانسیون‌ها، ادارات، و مغازه‌ها برای مستاجرین، دانشجویان، بیلاق نشینان، مسافرین و سایر کسانی قابل استفاده است که قادر به استفاده از کولرهای با نصب پنجره‌ای یا با نصب دائمی به شبکه آب نیستند. همچنین این کولرها جهت استفاده موقت در مجاور فعالیت‌های توام با گرمای زیاد در کارگاه‌ها و کارخانجات به کار می‌روند (به شکل ۱ این فصل مراجعه کنید).

1- Spot cooler
2- Window-pad cooler
3- Auto cooler

متاسفانه بسیاری از این کولرها به طور تصادفی به خریداران ساده انگار فروخته شده و به صورت اشتباه یا در اقلیم نامناسب مورد استفاده قرار گرفته اند. بسیاری از فروشندگان فصلی در مورد استفاده صحیح به کاربران توصیه نکرده و آن‌ها نیز دستگاه را تنظیم یا تعمیر نمی‌کنند.

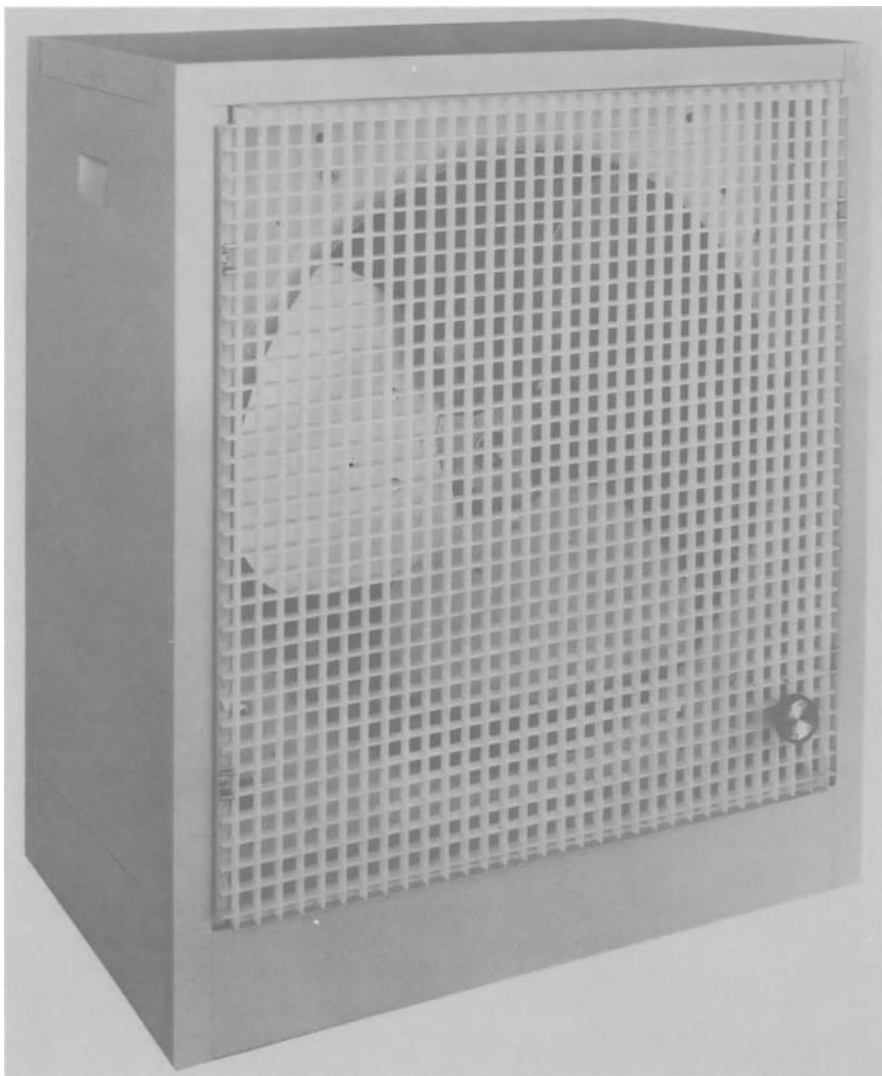
اغلب کولرهای پرتابل از نوع کولرهای آبی کوچک با توان $\frac{1}{4}$ تا $\frac{1}{15}$ اسب بوده و دارای فن محوری (پروانه‌ای) به قطر ۱۰ تا ۱۶ اینچ (۲۵/۴ تا ۴۰/۶ cm) با میزان هوای شسته شده خروجی ۸۰۰ تا ۲۰۰۰ cfm (۲۲/۷ تا ۵۶/۶ m³/min) هستند. نوع بهتر آن‌ها دارای فن گریز از مرکز با توان $\frac{1}{4}$ تا $\frac{1}{8}$ اسب و هوادهی ۱۵۰۰ cfm (۴۲/۵ m³/min) هستند که بسیار کم صادرات از نوع ساده‌تر قبلی می‌باشند. اغلب آن‌ها می‌توانند صرفاً به عنوان گرداننده هوا عمل کنند.

تعدادی از این کولرها دارای شیر شناور هستند تا به اتصالات آب متصل شوند. تمام آن‌ها دارای تشت عمیق به عنوان مخزن بوده و دهانه‌ای دارند که کاربر می‌تواند متناوباً آن را با پارچ یا ظروف دیگر پر کند. ظرفیت آب معمولاً از ۲ تا ۷ گالن است (۷/۶ تا ۲۵/۶ لیتر) که برای چند ساعت استفاده کفایت می‌کند. اغلب این کولرها دارای نشانگر سطح آب بوده و تمام آن‌ها از پمپ داخلی برای خیس کردن پدها استفاده می‌کنند. بسیاری از آن‌ها در سه طرف خود دارای پد هستند ولی بهترین آن‌ها به صورت پهن و مستطیلی با یک پد تکی در عقب است (به شکل ۲ این فصل مراجعه کنید).

مدل‌های کوچک کولرهای آبی پرتابل جهت حمل و نقل دسته داشته و مدل‌های بزرگتر آن پایه دارند. بر طبق سابقه، تمام این کولرها در اتاق استفاده شده و در جلوی پنجره یا در، بر روی پایه یا میز قرار داده می‌شوند. این کولرها، به خصوص نوع دارای سه پد، معمولاً هوای شسته شده خروجی خود را به درون کشیده و گردش می‌دهند در نتیجه رطوبت در داخل انباشته شده و موجب افزایش کپک زدگی و عدم آسایش می‌شود.

بدین ترتیب، عملکرد کولر بسیار به مواردی مثل جریان کافی از هوای بیرون به منظور ممانعت از ورود هوای اتاق به درون پدها، جهت باد، اندازه پنجره و غیره بستگی دارد. استفاده بیش از حد از هوای بیرون نیز بر روی کارکرد کولر تاثیر نامطلوب دارد.

امروزه بهترین کولرهای آبی پرتابل مستقیماً در پنجره، در بالای درگاه، نصب شده، به طوری که نیمه بالایی پنجره (در حالت پنجره دو تکه) بسته بوده و تیغه‌های آکاردئونی مانع از نشی به چپ و راست می‌شوند. بدین ترتیب تقریباً هیچ هوای شسته شده ای نمی‌تواند مجدداً وارد پدهای عقب شده و هوای گرم بیرون نیز نمی‌تواند مستقیماً وارد اتاق بگردد (به شکل ۳ این فصل مراجعه کنید).

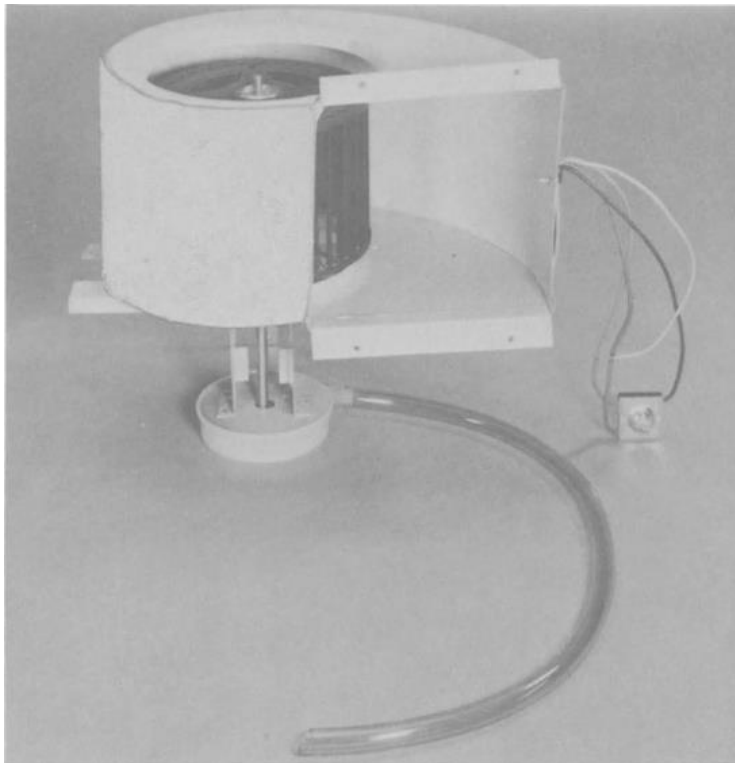


شکل ۱- یک کولر فن دار Phoenix با خروجی اسمی 1600 cfm ($45/3 \text{ m}^3/\text{min}$). به دهانه بزرگ جلویی دارای زهوار هوا لغز و شبکه ایمنی پلاستیکی توجه کنید. بدنه کولر به اندازه کافی باریک بوده تا به راحتی در آستانه درگاه پنجره‌های لولادار نصب شود. پد تکی عقب موجب کاهش گردش مجدد هوای اتاق می‌شود.

در نقاطی که کولر را نمی‌توان نصب کرد، باید پشت آن‌ها تا حد ممکن به منبع هوای بیرون نزدیک باشد. در حالت پنجره‌های لولادار، این کار را می‌توان به میزان بیشتری انجام داد. در مورد کولرهای دارای سه پد، اگر هوای بیرون با دمش از یک پنجره نیمه بسته از روی حوضچه آب عبور کند، عملکرد کولر بهتر است.

البته، تخلیه هوای مرطوب از اتاق خنک شده نیز اهمیت یکسانی دارد در نتیجه لازم است تا یک پنجره یا در باز، در پایین دست جریان کولر و به صورت ایده آل در سمت پناه‌دار ساختمان بوده تا نسیم بیرون به تخلیه هوای شسته شده کمک کند. البته ممکن است تخلیه تنها از طریق نزدیکترین پنجره موجود صورت گیرد. در صورت لزوم، هر چند توصیه نمی‌شود، کولرهای کوچکی که در کف پنجره‌های دو تکه قرار می‌گیرند می‌توانند از قسمت بالا تخلیه داشته باشند.

کولرهای پرتابل بزرگ می‌توانند با قرارگیری در ایوان یا پاسیو موجب خنک سازی افراد بیرون شوند. در رستوران‌های فضای باز، این کولرها می‌توانند به دور کردن حشرات نیز کمک کنند. برخی از آنها برای خنک کردن کارگرانی که در مناطق داغ فضای باز کار می‌کنند مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۲- مجموعه دمنده و پمپ یک کولر پرتابل Essick. دمنده دارای موتور مستقیم بوده و چرخ آن شفت عمودی یک موتور را احاطه کرده است. هوای شسته شده پد از بالا وارد شده و به جلو حرکت می‌کند. پمپ در زیر و در داخل آب درون مخزن آویزان بوده و روتور آن در امتداد شفت موتور قرار دارد.



شکل ۳- یک کولر پرتابل پنجره‌ای Essick. این کولر ترجیح داشته و دارای یک پد تکی در عقب و تیغه‌های قابل باز شدن (آکاردئونی) در چپ و راست هستند تا آن را در پنجره‌های دو تکه (به صورت کشویی عمودی) آب بندی کنند. این کولر دارای یک مخزن آب قابل پر شدن به صورت دستی، یک درجه آب، یک پمپ، یک دمنده سه سرعتی و یک پد پوشالی است.

کولرهای نقطه‌ای

این‌ها کولرهای آبی پرتابلی هستند که در اندازه بسیاری از رادیوهای رومیزی هستند. این کولرها بر روی میز یا کنار رختخواب قرار گرفته و می‌توانند فوراً خنک هوا را به صورت، بازوها و دست‌های بدون پوشش کاربر هدایت کرده ولی نمی‌توانند بیش از چند فوت مکعب از هوای اتاق را خنک کنند. تا وقتی که هوای تازه کافی از پنجره یا درهای مجاور به کولر نرسیده و تا وقتی که هوای شسته شده به راحتی به بیرون جریان نیافته این کولرها صرفاً موجب رطوبت زنی و رطوبت زنی مجدد هوای داخل شده و موجب ایجاد عدم آسایش رو به افزایش در مناطق خارج از محل برخورد فوران هوا می‌شوند. در حالی که کولرهای پرتابل معمولاً با حداقل هوای بیرونی اضافی بهتر کار می‌کنند، کولرهای نقطه‌ای به حداکثر مقدار این هوا نیاز دارند.

معمولاً فن کولرهای نقطه‌ای، گریز از مرکز است. توان این فن حدود $\frac{1}{4}$ اسب بوده و هوا را از طریق پدها به درون کشیده و از طریق روزنه‌هایی^۱ که قطر آن‌ها معمولاً کمتر از ۶ اینچ (۱۵/۲ cm) بوده و اغلب دارای تیغه‌های منحرف کننده است، تخلیه می‌کند. بهترین کولرهای نقطه‌ای دارای پمپ گردشی هستند اما بسیاری از انواع قدیمی آن صرفاً هوای بالای یک مخزن آب یا بین دو فتیله خیس را به درون می‌کشیدند.

به جز محدوده مجاور پوست برهنه، کولرهای نقطه‌ای دارای ضریب تاثیر پایینی هستند ولی آن‌ها می‌توانند به افرادی که درون فضاهای کوچک قرار گرفته‌اند، مثل اپراتورهای جرثقیل، تایپیست‌ها، اپراتورهای تلفن و کامپیوتر، دربان‌ها، بلیط فروش‌ها، نویسندگان، دانشجویان و معلولین و بیماران کمک کنند. البته احتمالاً اغلب کولرهای نقطه‌ای موجب یاس خریدار خود شده و فروش آن‌ها بسیار پایین است.

کولرهای پد-پنجره‌ای نوع اگزوزی^۱

این سیستم قدیمی در قبل از ۱۹۵۰ در تگزاس استفاده می‌شد که طی آن اتاقک زیر شیروانی چندان عایق‌سازی نمی‌شد و تنها استفاده از آن برای خنک سازی اتاقک‌های زیر شیروانی حائز اهمیت بود. این کولرها دارای پدهای اشباع مجزای تختی بودند که، به ازای هر اتاق، بخش بیرونی یک یا دو پنجره باز را می‌پوشاندند. آن‌ها از ورق فلز کرکره‌ای به ضخامت ۲ اینچ (۵/۱ cm) ساخته می‌شدند که مشابه قاب‌های نگهدارنده پد کولرهای آبی از پوشال پر می‌شدند. توزیع آب آن‌ها به صورت غیر گردشی بوده و اتصالات تخلیه آب آن در زیر قرار داشت. تنها کنترل آن شیر آبی بود که در سمت داخلی قرار داشت.

هیچ فنی وصل نمی‌شد. در عوض، ساختمان یا خانه دارای یک فن پروانه‌ای مرکزی بزرگ به صورت اگزوز فن بود که به اتاقک‌های تهویه شده زیر شیروانی خالی می‌شدند. در حالی که تمام درها و دیگر پنجره‌ها بسته بودند، هوا از میان پدها کشیده می‌شد، اتاق‌ها را خنک می‌کرد، و به فضای زیر شیروانی می‌رفت. بدین ترتیب هوای داغ فضای زیر شیروانی تعویض شده و گرمایی که از طریق تیرهای نمایان سقف جذب می‌شدند تعویض شده و به صورت عایق موجب کاهش جریان گرما به پایین سقف می‌شدند. در نتیجه، هوای شسته شده در ابتدا گرمای اتاق را دفع کرده و سپس به صورت ارزان از ورود گرمای جدید، به ویژه آن چه که در اجرام فوقانی ذخیره می‌شد و در شب هنگام وارد می‌شد، جلوگیری می‌کرد.

امروزه تخلیه هوای شسته شده از کولرهای جدید، از طریق فضای زیر شیروانی، کمتر فایده دارد زیرا کف فضای زیر شیروانی به خوبی عایق می‌شود. مزایای غیرمنتظره: درها و پنجره‌ها بسته مانده، سر و صدای بیرون حذف شده، تمیزی خانه بیشتر شده و از دزدی پیشگیری می‌شود. معایب آن نیز شامل عدم عایق کاری مجاری سقف که موجب اتلاف حرارت در زمستان می‌شود.

کولرهای جدید با پد غلتکی (دورانی)^۱

کولرهای کوچکی در آرکانزاس ساخته می‌شود که که مبتنی بر روش جدیدی برای خیس کردن پد است که شبیه کولرهای آبی است که تنها اطراف آن باز است. این پدها دارای یک تسمه عمودی متحرک هستند که شبیه حوله‌های غلتکی مورد استفاده در گذشته است که در پشت کرکره‌هایی قرار دارند. آن‌ها بر روی غلتک‌های دوار افقی قرار داشته، در نتیجه تمام هوای ورودی باید از میان آن‌ها عبور کند (به شکل‌های ۴ الی ۸ این فصل مراجعه کنید).

تسمه‌ها، نرم، منخل‌خل، از پشم پلی‌استر نتابیده با ضخامت نیم اینچ (۱/۳ cm) هستند که در پشت آن یک شبکه توری پارچه‌ای یک چهارم اینچی (۶/۴ mm) قرار دارد. حلقه پایین در داخل ناودانی پایینی آب آویزان است تا موجب خیس شدن و شسته شدن الیاف پشمین بشود. سپس با گردش موتور دارای چرخ دنده کوچک، غلتک‌ها می‌چرخند و مقاطع خیس بیرونی در عرض مسیر ورود هوای ورودی بالا رفته و سپس از سمت دیگر پایین می‌آید. در نتیجه هوا دو بار از میان پشم خیس عبور کرده و بازده اشباع بالا می‌رود. بخش‌هایی از تسمه که در سمت داخلی پایین می‌آیند، افشانه آب سمت بیرونی را گرفته و از پراکنش آن جلوگیری می‌کنند. سرعت هوای رخ می‌تواند از کولرهای آبی بیشتر بوده در نتیجه میزان سرمایش واحد سطح پد بیشتر است.

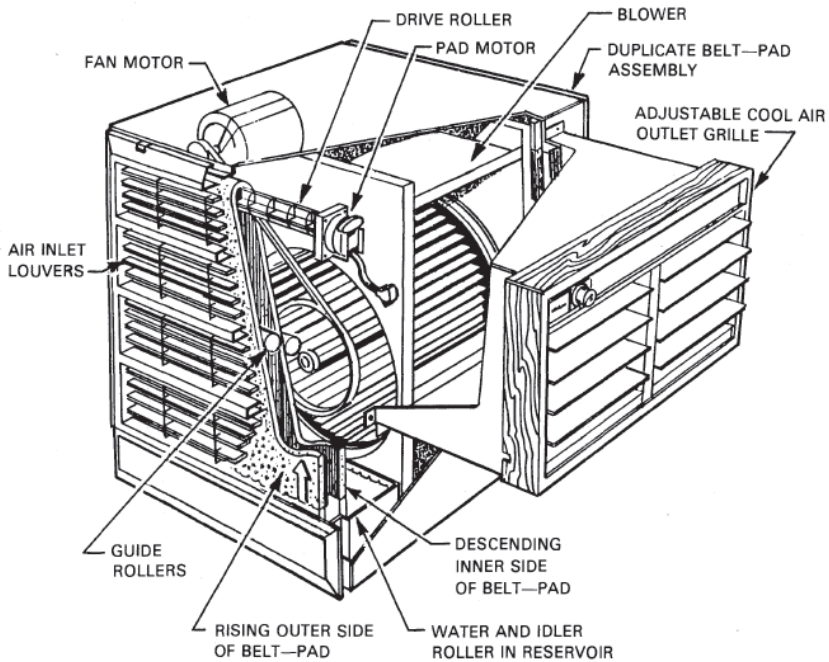
چون تسمه‌ها از ماده خنثی بوده و محکم هستند از فساد و شکم دادن آن جلوگیری می‌شود. به علاوه انعطاف آن در بالای غلتک‌های بالایی و مجدداً در زیر آب مانع از ورود گرد و خاک و تشکیل رسوب شده و موجب تمیزی و عدم گرفتگی آن‌ها می‌شود. به دلیل سرعت ۷ rpm تسمه، مصرف موتور چرخ‌دنده‌دار حداقل بوده و احتمالاً کمتر از مصرف پمپ‌های گردش‌شی است. این کولرها به صورت پستی سفارش داده شده یا در فروشگاه‌ها به فروش می‌رسند.

مدل‌های پرتابل:

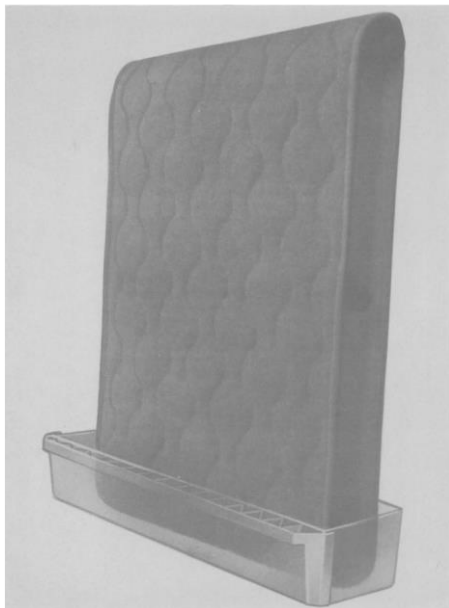
$\frac{1}{15}$ اسب، ۱۰۰۰ cfm (۰/۴۷ m³/s)، ۲ سرعت

$\frac{1}{15}$ اسب، ۱۳۰۰ cfm (۰/۶۱ m³/s)، ۳ سرعت

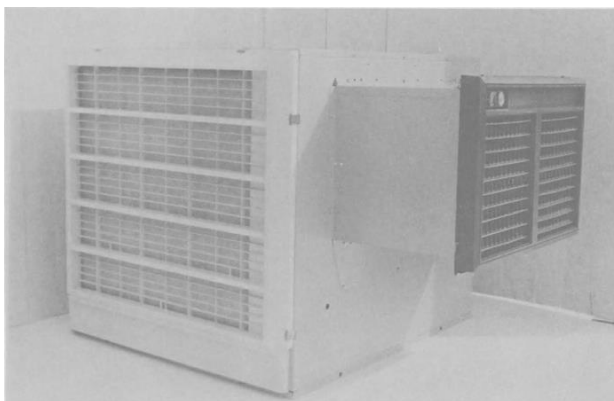
$\frac{1}{6}$ اسب، ۱۸۰۰ cfm (۰/۸۵ m³/s)، ۳ سرعت، هوارسان



شکل ۴- طرحواره کولر با پد غلتکی با نام تجاری Sears با نمایش کرکره‌های بیرونی، یک پد بی انتهای تسمه‌ای، غلتک محرک و موتور چرخ دنده‌دار، غلتک‌های راهنما برای محکم نگه داشتن آن در برابر فشار هوای داخلی و دمنده هوای شسته شده که توسط تسمه کار می‌کند. دو بار عبور از پد خیس موجب توان اشباع شدگی هوای زیادی در سرعت‌های بالا شده و همچنین تسمه داخلی، افشانه‌های احتمالی را از بخش خیس‌تر بیرونی گرفته و موجب محافظت فن و موتور می‌شود. تمام بخش‌های خیس شده به راحتی می‌توانند بازرسی و تمیز شوند.



شکل ۵- یک پد غلتکی Sears و مخزن آب آن. این پد پیوسته، بین یک غلتک موتوردار در بالا و یک غلتک هرزگرد در مخزن (هیچ یک در شکل قابل مشاهده نیست.) می‌گردد. هوایی که از چپ به راست حرکت می‌کند دو بار از این پد عبور می‌کند. یک غلتک بین دو تسمه عبور کرده و دیگری که در پشت است به مقاومت در برابر نیروی باد کمک می‌کند. با خم شدن به دور غلتک‌ها اغلب گرد و خاک و رسوبات روی تسمه شل شده و در داخل آب انباشته می‌شود تا از طریق دور ریز دفع شود. این پد به سادگی تمیز شده و یک سال عمر می‌کند. قاب نگهدارنده تمام غلتک‌ها و درز بندی کننده لبه‌های تسمه از پلاستیک تزریقی قالب‌گیری شده است.



شکل ۶- یک کولر تبخیری مستقیم با پد غلتکی با نام تجاری Sears برای نصب در پنجره یا دیوار. این کولر، نظیر حوله‌های غلتکی قدیم، توسط تسمه غلتکی متخلخلی که به صورت عمودی حرکت کرده و توسط ناودانی آب پایینی خیس نگه داشته می‌شود، هوای عبوری را دو بار اشباع می‌کند. پد تسمه‌ای بی انتها از روی یک غلتک افقی با دور آرام

در بالا و از زیر یک غلتک هرزگرد غوطه ور در ناودانی عبور می‌کند. مدل نشان داده شده دارای چنین مجموعه‌ای در هر طرف دمنده خود است و تمام هوا از طریق آن‌ها وارد می‌شود. مدل نشان داده شده به منظور نصب در پنجره دو تکه کشویی عمودی دارای کانال تخلیه و دریچه قابل تعویض است.

مدل‌های پنجره‌ای:

فن $\frac{1}{8}$ اسب، ۲۰۰۰ cfm ($0.94 \text{ m}^3/\text{s}$)، ۲ سرعت

دمنده $\frac{1}{4}$ اسب، ۴۳۰۰ cfm ($2.0 \text{ m}^3/\text{s}$)، ۱ یا ۲ سرعت

دمنده $\frac{1}{3}$ اسب، ۴۷۰۰ cfm ($2.2 \text{ m}^3/\text{s}$)، ۲ سرعت

مدل‌های کانال‌دار و سقفی:

دمنده $\frac{1}{4}$ اسب، ۴۰۰۰ cfm ($1.9 \text{ m}^3/\text{s}$)، ۲ سرعت

دمنده $\frac{1}{3}$ اسب، ۴۵۰۰ cfm ($2.1 \text{ m}^3/\text{s}$)، ۲ سرعت

دمنده $\frac{1}{2}$ اسب، ۵۲۰۰ cfm ($2.5 \text{ m}^3/\text{s}$)، ۲ سرعت

دمنده $\frac{3}{4}$ اسب، ۶۶۰۰ cfm ($3.1 \text{ m}^3/\text{s}$)، ۲ سرعت برای سرمایش، هوادهی

یک سازنده در کلرادو در دو مدل کولر کوتاه با تخلیه فرو باد، از یک پد تسمه‌ای بدون انتهای تا حدودی متفاوت استفاده می‌کند. بدنه گالوانیزه رنگ شده مدل بزرگتر دارای دو وجه باز روبروی هم است. در وسط این دو یک فن گریز از مرکز یک سوم اسب دو سرعت با دمش فرو باد قرار دارد.

هوای مکیده شده از دو وجه باز، ابتدا از فیلترهای گرد و خاک و سپس همچون کولرهایی که قبلاً تشریح شدند، از پدهای تسمه‌ای متحرک عبور می‌کند که در ابتدا از الیاف در هم پیچیده و در حال حاضر از فوم پلاستیک ساخته می‌شوند. دو تسمه کولر به ضخامت نیم اینچ ($1/3 \text{ cm}$) و با دور rpm $17/$ بوده و به کمک غلتک‌های بالایی و پایینی، توسط موتور چرخ دنده‌دار مستقلی گردانده می‌شود. این کولر پمپ نداشته و تسمه اتوماتیک آن، دور ریزی مواد معدنی تشکیل شده را بر عهده دارد. تشت پلاستیکی آب آن را می‌توان برای تمیزکاری باز کرد.

این دستگاه‌ها تقریباً نصف کولر آبی هم ظرفیت خود بوده و تا 3850 cfm ($1/8 \text{ m}^3/\text{s}$) هوا را خنک می‌کنند. ظرفیت سرمایش اعلام شده $71,280 \text{ Btuh}$ ($75/2 \text{ kJ/hr}$) گرمای محسوس در هنگامی

است که، با صرف نرخ بازده انرژی (EER)^۱ سرمایش هوای ۸۷ بی‌تی‌یو بر وات (۹۱/۸ J/W)، هوا ۲۰ درجه فارنهایت (۱۱/۱ deg C) خنک می‌شود (برای مفهوم EER و محدودیت‌هایش به فصول ۱۷ و ۲۴ مراجعه کنید). طی ولتاژ ۱۱۵ volts AC در دور بالای فن ۸/۸ و در دور پایین آن ۶/۰ آمپر کشیده می‌شود. سطح تراز سر و صدای بیرونی خروجی در دور بالای فن، در ۵ فوتی (۱/۵ m) از ورودی هوا ۷۰ دسی‌بل گزارش شده که احتمالاً در داخل کمتر است.

مدل کوچک‌تر دارای بدنه یکسان بوده ولی فقط یک وجه آن باز است، یک فیلتر گرد و خاک و یک پد تسمه‌ای داشته و فن گریز از مرکز با تخلیه فروباد آن، دو سرعت و با توان یک سوم اسب است. میزان هوای تحویلی واقعی در دور بالای فن ۱۷۰۰ cfm (۴۸/۱ m³/min) و در دور پایین ۱۱۰۰ (۳۱/۱ m³/min) است. ظرفیت سرمایش معادل آن ۳۶،۷۲۰ Btuh (۳۸/۷ kJ/hr) در هنگامی است که طی EER ۷۸ بی‌تی‌یو بر وات (۸۲/۳ J/W)، هوا ۲۰ درجه فارنهایت (۱۱/۱ deg C) خنک می‌شود.

این مدل معمولاً به صورت بدون کانال در خانه‌های متحرک یا در اتاق‌ها و خانه‌های با مساحت ۷۵۰ تا ۱۲۵۰ فوت مربع (۶۹/۷ تا ۱۱۶/۱ m²) استفاده می‌شود. در نهایت، ما مدل سفید ضد صدای دارای پخش‌کننده (دیفیوزر) سقفی پلاستیکی را توصیه می‌کنیم که دارای دو خروجی قابل تنظیم چهار مسیره است.

هر دو این دستگاه‌ها دارای امتیاز دوره کارکرد بدون خرابی طولانی‌تری نسبت به کولرهای با پد پوشالی بوده، در حالی که محیط آن‌ها از نظر معماری مزاحمت کمتری ایجاد می‌کند.

کولرهای تبخیری اتومبیل

کولرهای تبخیری اتومبیل، پیشتر از کولرهای برودتی خودرو مورد استفاده قرار گرفته و عمدتاً در مورد خودروهای مورد استفاده برای گردشگران تابستانی جنوب غربی ایالات متحده استفاده می‌شدند.

این کولرها نسبتاً ارزان قیمت و بدون اجزای متحرک بوده، اکثر این کولرها دارای سیلندر فلزی به قطر ۱۰ اینچ (۲۵/۴ cm) و طول ۲۴ اینچ (۶۱ cm) بوده که به صورت افقی در بیرون پنجره جلوی سمت راست نصب می‌شدند و دارای دهانه ورودی قیفی شکلی بودند که در اثر حرکت خودرو هوا را دریافت می‌کردند. هوای ورودی از میان پدهای پوشالی داخلی عبور می‌کردند که توسط پمپ‌های پلانجری کوچک به صورت دستی خیس شده و این پمپ‌ها به مخازن ذخیره‌ای متصل بودند. هوای

شسته شده از طریق شیپوره‌های عریضی وارد خودرو شده و از طریق پنجره‌های عقب که اندکی باز بودند خارج می‌شد.

یک فن که به خروجی فن‌دک خودرو وصل بود در کف خودرو و بین راننده و سرنشین قرار داشت. عدم تامین هوای مناسب موجب نقصان عملکرد این کولر می‌شد.

کولرهای مدرن خودرویی

یک سازنده کلرادویی که در بالا بدان اشاره شد، برای کابین‌های بسته ماشین‌آلات کشاورزی، تراکتورها، لودرهای صنعتی، ماشین‌آلات خاکبرداری، گریدرها و جاروهای خیابانی، تمام خودروهای کند رویی که تماماً در معرض گرد و خاک و گرما هستند، موتورخانه‌ها، ون‌ها، خودروهای کمپینگ، خانه‌های تریلری و سایر خودروهای تفریحی مشابه، کولرهای سقفی را تولید می‌کند.



شکل ۸- یک کولر سقفی دارای پد غلتکی با نام تجاری Sears. این کولر دارای دو پد غلتکی جانبی بزرگ و یک پایه قابل تنظیم برای انطباق با انواع سقف‌های شیب‌دار است. تخلیه هوای آن‌ها می‌تواند به صورت جانبی یا رو به پایین و از طریق کانال باشد. آن‌ها دارای یک تسمه عقبی بوده و به صورت کولر کوچک پنجره‌ای و دو مدل کولر پرتابل موجود هستند.

این کولرها دارای بدنه کوتاه با عرض ۳۰ اینچ، طول ۳۵ اینچ و ارتفاع ۱۰ اینچ (۷۶ در ۸۹ در ۲۵/۴ سانتی‌متر) هستند که در بالای خود دارای دهانه‌ای برای ورود هوا هستند. هوای ورودی از میان

فیلترهای گرد و خاک عبور کرده و سپس به استوانه‌های^۱ افقی دواری می‌رسد که توسط یک اینچ (cm) ۲/۵۴ از ماده متخلخلی از جنس الیاف مصنوعی پوشیده شده و از میان تشت آبی که در زیر خود قرار گرفته عبور می‌کند. تیغه‌هایی هوا را به سمت الیاف هدایت می‌کنند. سپس این هوا از میان فن‌های پروانه‌ای می‌گذرد که آن را به سمت پایین و درون خودرو می‌دمد. تا از میان دیفیوزرهای سقفی توزیع شود.

این استوانه توسط چرخ جغجغه‌ای^۲ (ضامن دار) به گردش در می‌آید که به پمپ‌های برقی دیافراگمی متصل است که آب را از طریق لوله‌هایی، از مخزن پلاستیکی پرتابل قابل پر شدن ۵/۹ گالنی (۲۲/۳ لیتری) زیر خودرو، به بالا آورده و از طریق شیرهای شناور به درون تشت می‌ریزد. کنترل‌های روی دیفیوزر، امکان تنظیم سه سرعت برای فن، به انضمام سرعت استوانه را برای حالتی که رطوبت بیرون زیاد یا کم است را فراهم می‌کنند.

سه مدل از این کولر تولید می‌شود که دو مدل آن در دور فن بالا، ۸۵۰ cfm (۲۴ m³/min) و در دور فن پایین ۵۲۵ cfm (۱۴/۹ m³/min) تحویل می‌دهند. این کولرها برای خودروهای کشاورزی و صنعتی طراحی شده و بر طبق گزارشات، گرمای محسوس هوای ورودی را ۱۸،۲۶۰ Btu/h (۱۹/۳ کاهش داده و دمای آن را نیز ۲۰ deg F (۱۱/۱ deg C) پایین می‌آورند. آن‌ها برق ۱۲ یا ۲۴ ولت DC را استفاده کرد و در دور بالا ۲۰ آمپر برق کشیده و EER آن‌ها ۷۶ Btu/W (۸۰/۲ J/W) است. در دور پایین، فن آن‌ها ۱۰ آمپر برق می‌کشد.

کولر سوم برای خودروهای سریع‌تری نظیر کامیون، خودروی کمپینگ و خانه‌های موتوری است. این کولر شبیه دو نوع دیگر است ولی در جلوی خود دارای بادگیری است که هوای پر سرعت بیرون را دریافت کند. این دهانه در زمستان بسته می‌شود.

بدنه کولر دراز و کم ارتفاع است. وقتی خودرو با سرعت ۵۰ mph (۸۰/۵ kmph) حرکت می‌کند حدود ۸۰۰ cfm (۲۲/۷ m³/min) را تحویل می‌دهد. وقتی خودرو ایستاده است در سرعت بالای فن، ۴۰۰ cfm (۱۱/۴ m³/min) و در سرعت پایین فن، ۳۱۰ cfm (۸/۸ m³/min) تحویل می‌شود. بر طبق گزارشات، ۸،۶۴۰ Btu/h (۹/۱ kJ/hr) گرمای محسوس هوای ورودی، طی کاهش دمای ۲۰ deg F (۱۱/۱ deg C) دفع شده و در دور بالا ۱۰/۳ آمپر برق کشیده و EER آن‌ها نزدیک ۷۰ Btu/W است. این کولر تنها برق ۱۲ ولت DC را استفاده کرده و در دور پایین فن آن‌ها ۷/۳ آمپر برق می‌کشد. وقتی این کولر تنها برای هوارسانی (بدون سرمایش) استفاده می‌شوند در دوره‌ای بالا و پایین به ترتیب ۸/۲ و ۵/۲ آمپر برق می‌کشند.

کولرهای بزرگتر از فولاد گالوانیزه هستند. انواع کوچکتر پلاستیکی هستند. فیلترهای گرد و خاک تمام انواع به راحتی قابل خارج شدن و شستن هستند. استوانه‌های دوار کاملاً، در داخل تشت آب، خود تمیز شونده هستند. از نظر سر و صدا، کولرهای بزرگتر حدود ۸۷ و کولرهای کوچکتر حدود ۷۵ دسی‌بل در داخل اتاق ایجاد می‌کنند.

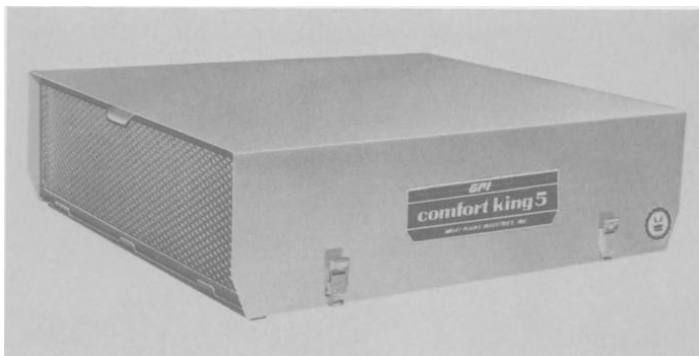
کولرهای با محفظه مه^۱

یک سازنده در کانزاس دو مدل کولر تبخیری سقفی برای تریلرها، خودروهای کمپینگ، ون‌ها و دیگر خودروهای تفریحی و یک مدل برای ماشین‌آلات کشاورزی و ساختمانی (راه‌سازی) می‌سازد. کولر اخیر (به شکل ۹ این فصل مراجعه کنید)، دارای یک بدنه کوتاه جعبه‌ای با فیلترهای گرد و خاک ورودی هوای انبوهی در جلو و عقب است. در داخل دو دیواره هم مرکز از فوم پلاستیکی متخلخل وجود دارد. در مرکز داخلی کولر یک موتور یک چهارم اسب با شفت عمودی وجود دارد که یک دیسک پودر کننده آب در بالا و یک فن پروانه‌ای در پایین آن قرار دارد.

در اینجا، دیسک بین دو دیواره هم مرکز ایجاد مه کرده و به داخل دیواره بیرونی آب می‌پاشد. فن ابتدا هوا را از میان دیواره فیلتر هم مرکز بیرونی به داخل کشیده و سپس این هوا با گذر از محفظه مه در نهایت، برای سرمایش نهایی، از فیلتر هم مرکز داخلی گذر می‌کند. سپس فن هوا را، از طریق یک دیفیوزر (که می‌تواند در صورت لزوم در زمستان‌ها به جای آن یک گرمکن الکتریکی نصب کرد) به سمت پایین بدنه می‌دمد (به شکل ۱۰ این فصل مراجعه کنید).

آب توسط یک پمپ برقی دیافراگمی از یک مخزن پلاستیکی ۶/۵ گالنی (۲۴/۶ لیتری) که در پایین قرار دارد به بالا فشرده می‌شود. این سیستم با برق ۱۲ یا ۲۴ ولت کار کرده و بسته به دور فن، ۱۵ یا ۹ آمپر برق می‌کشد. در بالاترین سرعت، ۴۰۰ cfm (۱۱/۳ m³/min) هوا تحویل می‌شود. فیلترهای ضخیم گرد و غبار و فرآیند دو مرحله‌ای پد اشباع، این کولر را برای استفاده در شرایط سخت مناسب می‌سازد.

مدل غیر صنعتی این کولر دارای یک شکل پلاستیک قالبی هوا لغز با عرض حدود ۲۵ اینچ و طول حدود ۵^۵/_۸ اینچ (۵۸ در ۶۴ سانتی‌متر) است. هوا از طریق صفحات مشبکی از سه طرف کشیده شده و وارد یک فضای حلقوی دو جداره می‌شود که از مه آب پودر شده مذکور در بالا پر شده است (به شکل ۱۱ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۹- نمای بیرونی کولر تبخیری با نام تجاری Great Plains برای ماشین‌آلات راهسازی و کشاورزی. این دستگاه بر روی سقف نصب می‌شود تا هوای شسته شده را از میان دریچه‌های سقفی چهار راهه به پایین بدمد. دو طرف کولر دارای فیلتر گرد و غبار بوده تا هوای بیرون را وارد کنند. بین این دو فیلتر، دو دیواره هم مرکز از فوم متخلخل وجود دارد که مه تولید شده توسط دیسک دوار را در بر می‌گیرد. هوایی که از میان مه کشیده می‌شود خنک شده و به یک فن پروانه‌ای مرکزی با شفت عمودی وارد شده و به پایین تحویل داده می‌شود.

شفت پایینی موتور، یک فن پروانه‌ای را در داخل یک سیلندر کف (حباب) می‌گرداند. فن هوا را از میان مه و کف می‌کشد. قطرات کشیده شده به داخل کف در آنجا تبخیر شده، فرآیند سرمایش را تکمیل کرده و از نفوذ آب جلوگیری می‌کنند. فن حدود 265 cfm ($7/5 \text{ m}^3/\text{min}$) هوای شسته شده را از طریق یک دیفیوزر سقفی دارای کلیدهایی برای تنظیم دور موتور و تبدیل کولر به آگزوز فن، به خودرو تحویل می‌دهد.

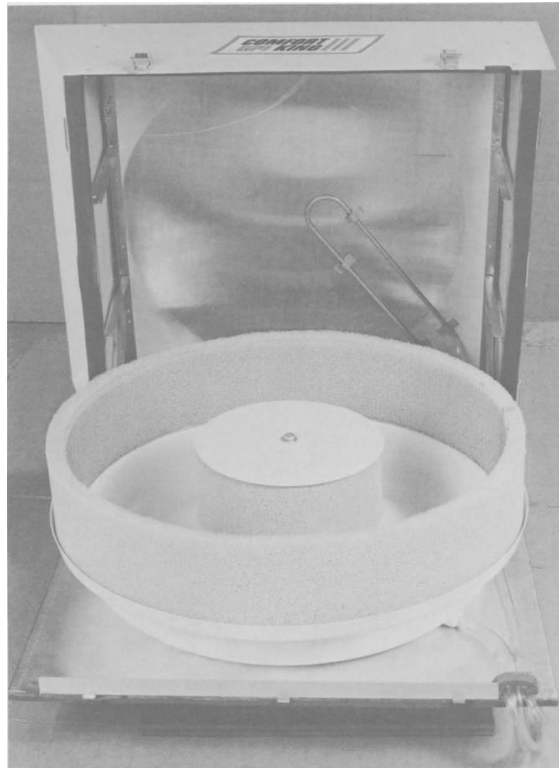
یک لوله پلاستیکی، آب را از یک مخزن پرتابل در زیر خودرو تغذیه کرده و از طریق افزایش فشار آن توسط یک پمپ برقی کوچک آب را به بالا می‌فرستد. یک شیر شناور اجازه جریان آب به یک تشت کوچک را داده و از آنجا، یک پمپ داخلی، آب را به دیسک پودر کننده تحویل می‌دهد.

کل سیستم ۵ آمپر برق ۱۲ ولت DC را در حالت دور بالای فن و $2/3$ آمپر را در حالت دور پایین آن می‌کشد. هوای ورودی در حدود 5 F ($2/8 \text{ C}$) نسبت به دمای مرطوب بیرون خنک می‌شود.

کولر مربوط به تریلرها، خودروهای کمپینگ و کامیون‌های بزرگتر نیز دارای طراحی کلی مشابهی است ولی توان موتور فن آن $\frac{1}{3}$ اسب است. با استفاده از برق ۱۲ ولت DC در حالت دور بالای فن، ۹ آمپر و در حالت دور پایین آن ۵ آمپر برق کشیده می‌شود. این کولر تا 400 cfm ($11/3 \text{ m}^3/\text{min}$) هوای شسته شده را تحویل می‌دهد.

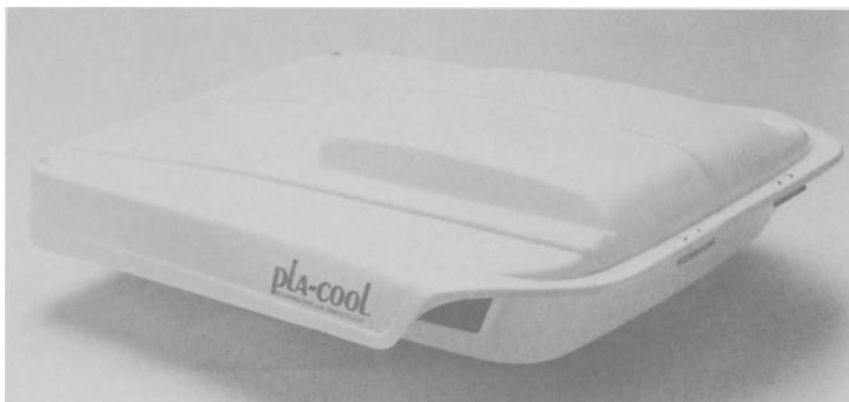
یک کولر کوچک جدید با استوانه دوار

سازنده کلرادویی که دستگاه‌های خودرویی و خانگی نوع تسمه‌ای با تخلیه فروباد را می‌سازد، اینک کولرهای مستقیم پنجره‌ای و دیواری کوچک با استوانه دوار را می‌فروشد (به فصل ۹ مراجعه کنید). پدهای تسمه ماندی از الیاف مصنوعی متخلخل و جاذب نصب شده بر روی سیلندرهای افقی دوار به داخل تشت آبی فرو رفته و همزمان فن پروانه‌ای، هوای فیلتر شده بیرون را از میان ماده خیس عبور داده و به فضای درونی می‌دمد. یک مدل از این کولر دارای ظرفیت اسمی اعلام شده $2000 (56/3 \text{ m}^3/\text{min})$ است.



شکل ۱۰- یک محفظه مه ساخت Great Plains Industries. در بالای شکل یک کولر بدون پوشش برای ماشین آلات راهسازی و کشاورزی نشان داده شده که فیلترهای هوای ورودی آن در چپ و راست بوده و یک حلقه لوله سوراخ‌دار نیز دیده می‌شود که آب را به درون بخش مه ساز تغذیه می‌کند. در پایین شکل دو دیواره هم مرکز از فوم پلاستیکی متخلخل توسط یک تشت آب حلقوی از هم جدا شده‌اند. در بالای دیواره داخلی یک دیسک دوار وجود دارد. آبی که بر روی این دیسک فرو می‌ریزد در محفظه حلقوی ایجاد مه کرده و به دیواره بیرونی پاشیده می‌شود. در زیر دیسک دوار، یک موتور با شفت عمودی وجود دارد که یک فن پروانه‌ای را در پایین می‌گرداند. این فن هوا را از فیلترهای بالا و دیواره فوم بیرونی و سپس از میان مه و فوم خیس داخلی به درون می‌کشد. یک شیر شناور و یک پمپ گردشی تغذیه کننده دیسک، یک

مخزن ۶/۵ گالنی (۲۴/۶ لیتری) در داخل خودرو (که پمپ آن آب را را به شیر شناور می‌دهد) و یک دریچه مشبک چهار راهه سقفی توزیع کننده هوی شسته شده نیز وجود دارد که در شکل مشخص نیستند.



شکل ۱۱- یک کولر سقفی Great Plains برای خودرو، کامیون، خودروهای تفریحی و غیره. هوا از طریق شبکه‌هایی در سه طرف کولر وارد می‌شود. مه تولیدی پودر کننده دیسکی آب که بر روی شفت عمودی یک فن قرار دارد دارای توان اشباع بالایی بوده و می‌تواند از این دستگاه کوچک سرمایه‌ش زیادی را حاصل کند.

سرمایش از نوع مه بیرونی^۱

در مورد کولرهای نه چندان کوچک، در اینجا طرح‌های جدیدی ارائه می‌شود که برای گاوداری‌ها و مرغ‌داری‌ها (فصل ۱۵) و گلخانه‌ها (فصل ۱۶) امتحان خود را پس داده‌اند.

در یک سیستم جدید، آب تصفیه و فیلتر شده در ۶۰۰ psi (۴۱۳۴ kPa) وارد شیپورهایی در بالا و اطراف نواحی می‌شود که باید خنک شوند. روزنه‌هایی (اریفیس‌هایی) با قطر ۱۰ میکرون (حدود یک دهم موی انسان) این آب را به صورت مه در می‌آورند که به آرامی به پایین رانده شده و گرمای هوا و خورشید را جذب کرده و در بالای سطح زمین ناپدید می‌شوند.

می‌توان با هزینه کم، آسایش را به حیاط‌ها، زمین‌های تنیس، رستوران‌ها، ایوان‌های آفتابگیر، اطراف استخرهای شنا، باغ‌ها و سکوهای بارگیری کامیون‌ها در نواحی صحرایی آورد. این سیستم در دمای هوای ۹۵ F (۳۵ C) یا بالاتر کارایی بهتری دارد.

کوچکترین پمپ این سیستم برای ۱۶۰ ft (۴۸/۸ m) لوله، با شیپورهایی که در هر ۲ ft (۶۱ cm) واقع هستند، عمل می‌کند. با نصب در اطراف حیاط و پاسیو و در ارتفاع حداقل برابر با ارتفاع ایوان، بر طبق گزارشات این سیستم موجب بخارگرفتگی عینک نشده و با هزینه یک دهم سرمایه‌ش برودتی،

می‌تواند موجب خنکی و حفاظت پوست انسان شده و در عین حال به آبیاری درختچه‌ها نیز کمک می‌کند.

در حالت کشاورزی این سیستم موجب سرمایش مزارع کاهو در آریزونا، باغات بادام در کالیفرنیا، تاکستان‌ها در فرانسه، درختان مرکبات در یونان، و درختان گیلاس در چک و اسلواکی شده‌است. امروزه، ۸۰۰ سیستم در اروپا و ۲۰۰ سیستم در ایالات متحده فعال است که اکثر آن‌ها پس از ۱۹۸۲ فروخته شده‌اند. در این طرح از فوران آب پرفشاری استفاده می‌شود که با برخورد به برجستگی‌های سوزن مانند به مه تبدیل می‌شوند.

با نصب در فضاهای داخلی، بالاخص گلخانه‌ها، بدون خیس کردن هیچ چیز یا ممانعت از نور خورشید می‌توان رطوبت ۱۰۰ درصد را ایجاد کرد. در فضاهای خارجی، ردیف شیپورهایی که در ارتفاع قرار می‌گیرند، اغلب با استفاده از آب شور مناطق صحرایی، موجب خنک‌سازی و تاحدودی آبیاری مزارع و باغات می‌شوند.

شگفت این که، آن‌ها در زمستان نیز از درختان محافظت می‌کنند. یک مخترع شیپوره‌های خاصی را ابداع کرده که در ارتفاع پایین مه ایجاد می‌کند تا باغات مرکبات را از یخ زدگی نجات دهد. وقتی در یکی از زمستان‌های اخیر دما در فلوریدای جنوبی به 27 F ($-2/8\text{ C}$) رسید این سیستم چندین هکتار گیاهان زینتی را نجات داد.

کولرهای کوچک با ماده واسط صلب

این کولرهای آبی کوچک دارای پدهای ضخیم، کارا و با دوام جایگزین کولرهای آبی می‌شوند. این کولرها در فصل ۱۲ مورد بررسی قرار می‌گیرند.

کولرهای کوچک خورشیدی

شرکت Scottsdale در آریزونا هواسازهای مینیاتوری با محفظه افشانه‌ای را می‌سازد که دارای فیلترهای ورودی، دمنده، پمپ، شیپوره و تیغه‌های قطره‌گیر هستند. این کولرها صرفاً بر اساس سرمایش تبخیری کار می‌کنند و بسیار کوچک‌تر از کولرهایی هستند که در فصل ۱۱ تشریح شده‌اند. این کولرها از آلومینیوم روکش‌دار ساخته شده و بر طبق گزارش 2200 cfm ($1\text{ m}^3/\text{s}$) هوای تا حد ۹۰ درصد اشباع را با توان ۵۰۰ وات تحویل می‌دهند. بسیاری از این کولرها در غذاخوری‌ها استفاده می‌شوند.

استفاده از انرژی خورشیدی منحصر به فرد است. شش پانل ۳۵-۴۳ وات ۱۲ ولت DC حدود ۲۴ فوت مربع ($2/2 \text{ m}^2$) تا حدود ۲۵۸ وات از ۵۰۰ وات را تامین کرده و یک کنترل کننده نوآورانه حالت -جامد این توان را با بقیه توان مورد نیاز کولر از طریق برق شهری که به DC تبدیل شده مخلوط می کند.

این امر موجب تضمین قابلیت کار در روز و شب شده، باتری را حذف کرده و هزینه سرمایه گذاری پانل را به نصف تقلیل می دهد. در طی ساعات گرم که بهای برق شهری و میزان مصرف بالا است این کولر ۵۰ درصد برق خود را از انرژی خورشیدی تامین می کند (به فصل ۲۴ مراجعه کنید). در شب هنگام که نرخ برق به دلیل کاهش مصرف پایین تر است این کولر از برق شهری بهره می گیرد.

از آنجا که باتری جزء سرمایه های از بین رفتنی محسوب می شود و نیازمند تعویض پر هزینه است، این روش آموزنده بوده و نشان می دهد که چگونه هزینه سرمایه گذاری خورشیدی می تواند، پس از حذف یارانه های دولت فدرال (در آمریکا)، حداقل شود.

یک سازنده کالیفرنایی کولرهای تبخیری با برق خورشیدی، مطابق آنچه در بالا گفته شد، دو پانل ۳۶ سلولی فتو ولتائیک تخت را بر روی سقف هوا لغز شده کولرهای خودرویی به کار گرفته است. توان ورودی این کولر ۴۴ وات بوده که وسایل اشباع کننده و فن داخلی را به کار انداخته تا هوا را از سه طرف کشیده و از طریق دیفیوزرها آن را به داخل خودرو یا خانه متحرک بدمد. به هیچ باتری خاصی در این کولر نیاز نبوده و بر طبق گزارش، مساحت زیادی به این روش خنک می شود. در شب هنگام توان این کولر توسط باتری خودرو تامین می شود.

آینده

کولرهای تبخیری بسیاری توسط مخترعین و شرکت ها ارائه شده اند. هیچ کس نمی داند که کدام یک از این کولرها می توانند در سال های آتی به بازار راه یابند.

پرسش‌های دوره‌ای

۱. معایب کولرهای پرتابل دارای سه پد که در داخل ساختمان استفاده می‌شوند را بیان کنید.
در کجا آن‌ها بهتر عمل می‌کنند؟ چرا؟
۲. چرا کولرهای پرتابل با یک پد تکی در عقب عملکرد رضایتبخش‌تری دارند؟ بهترین محل استقرار آن‌ها کجا است؟ چه نوع پنجره‌ای بهتر است؟ چرا؟ چه نوعی به نظر بدترین است؟ چرا؟
۳. چرا افزایش هوای بیرون موجب کاهش میزان آسایش حاصل از کولرهای پرتابل می‌شود؟ کاستی هوای بیرون چیست؟ چرا اغلب باید آن‌ها در پنجره آب بندی کرد؟ چه نوع کولری احتمالاً بهتر آب بندی می‌شود؟
۴. کولرهای نقطه‌ای در کجا می‌توانند ایجاد آسایش کنند؟ در کجا آن‌ها موجب سلب آسایش می‌شوند؟ چرا؟ آیا پنکه‌های ساده می‌توانند کار آن‌ها را انجام دهند؟
۵. مزایا و معایب سرمایش با پد- پنجره‌ای از نوع اگزوزی را بیان کنید. آیا این روش جایگزین عملی برای عایق سازی اتاق زیر شیروانی است؟ شرح دهید. کاربردهای معادل برای استفاده از هوای شسته شده را شرح دهید.
۶. چرا پدهای با تسمه متحرک نسبت به پدهای پوشالی اجازه حرکت سریع‌تر به هوا می‌دهند؟ چرا آن‌ها مستلزم تعویض دیرتر پد هستند؟
۷. روش‌های خیس کردن هوا در دو کولر مدرن خودرویی را مقایسه کنید.
۸. سه دلیل ذکر کنید که چرا ایجاد مه ساختگی نازک می‌تواند موجب حفاظت میوه درختان و غیره از یخ زدگی در آب و هوای سرد شود. آیا اگر در شبانگاه آسمان صاف یا ابری باشد، در دمای یکسان، این روش اثرات متفاوتی دارد؟ شرح دهید.
۹. استفاده انحصاری از انرژی خورشیدی در هواسازهای کوچک را شرح دهید. مزایای آن چیست؟ معایب آن چیست؟
۱۰. چرا کولرهای خورشیدی خودرویی به باتری نیازی ندارند؟ آیا با کاهش شدت تابش خورشیدی که موجب تقلیل توان ورودی کولر می‌شود میزان آسایش نیز کاهش می‌یابد؟ شرح دهید.

فصل ۹

کولرهای تبخیری مستقیم تجاری

کولرهای آبی دارای کاربردهای زیادی هستند که از آپارتمان‌ها، اتاق‌ها، خانه‌های مسکونی، خانه‌های تریلری و دفاتر تجاری کوچک تا هزاران ساختمان بزرگتر شامل سوپر مارکت‌ها، کلیساها و کارخانجات کوچک را شامل می‌شود. بسیاری از موسسات تجاری و صنعتی سیستم‌هایی را ترجیح می‌دهند که مستلزم توجه و نگهداری کمتری است حتی اگر که گران قیمت و پر مصرف باشند. در این رابطه کولرهای تبخیری آبی-پرتابی، با پد افشانه‌ای و با پد دوار به ترتیب بررسی می‌شوند.

کولرهای تبخیری آبی-پرتابی

اگر چه در مقایسه با کولرهای آبی کاربرد کمتری داشته و به ندرت در ساختمان‌های مسکونی استفاده می‌شوند ولی در عوض در فضاهای بزرگ‌تری نظیر موارد زیر استفاده می‌شود:

سالن ورزش	سوپرمارکت	رستوران
مدرسه	داروخانه	اغذیه فروشی
تئاتر	دفاتر	نانوایی
ایستگاه اتوبوس	آرایشگاه	آشپزخانه
نیروگاه	گاراژ	خشکشویی
کارگاه نساجی	کارگاه	فروشگاه‌های خرده فروشی
کارخانه	میدان اسکیت	فروشگاه‌های بزرگ
صنایع شیمیایی	سالن بولینگ	

بسیاری از آن‌ها در دستگاه‌های هواساز و پکیج‌های سقفی که قادر به گرمایش و سرمایش هستند استفاده می‌شوند. این کولرها در انواع یک سوم تا ۲۵ اسب با ظرفیت ۳۰۰۰ تا ۴۰,۰۰۰ cfm (۸۵ تا ۱۱۳۳ m³/min) هوای شسته توسط هر دستگاه بوده و اغلب در تگزاس، کالیفرنیا و اوهایو ساخته می‌شوند.

این کولرها عمدتاً دارای فن گریز از مرکزی هستند که درون بدنه فلزی مکعبی قرار دارد که دیواره عقبی آن معمولاً باز بوده ولی توسط یک توری، پانل کرکره‌ای یا فیلتر گرد و خاک پوشیده شده تا هوای ورودی را تمیز کند. فن‌های با پره دارای انحنای پیشرو^۱ دو طرفه، هوا را وارد کرده و از میان پدهای بزرگ و خیسی که درون تشت آب کم عمفی در داخل کولر قرار دارد عبور می‌دهند.

این کولر معمولاً به صورت تخت و با زاویه ۹۰ درجه نسبت به جهت هوا قرار گرفته و در برخی از انواع آن پدها به صورت U شکل رو به عقب قرار می‌گیرند. یکی از سازندگان، از طریق ایجاد خم‌های عمودی که سطح مارپیچی را ایجاد می‌کند، مساحت پدها را ۴۵ درصد افزایش داده‌است. تقریباً تمام پدها (که سازندگان به آن فیلتر می‌گویند)، در سمت ورودی هوا، توسط افشانه رو به بالای ایجاد شده توسط یک چرخ دوار "پرتاب آبی" که سریعاً درون آب زیر خود فرو می‌رود، خیس می‌شود. در صورت لزوم شیرهای شناور تشت آب را پر می‌کنند. اغلب این دستگاه‌ها دارای افشانه‌های قابل رویتی هستند که حرکت هوا مانع از فرار افشانه می‌شود. تعدادی فیلتر گرد و غبار نیز وجود دارد (به شکل ۱ این فصل مراجعه کنید).

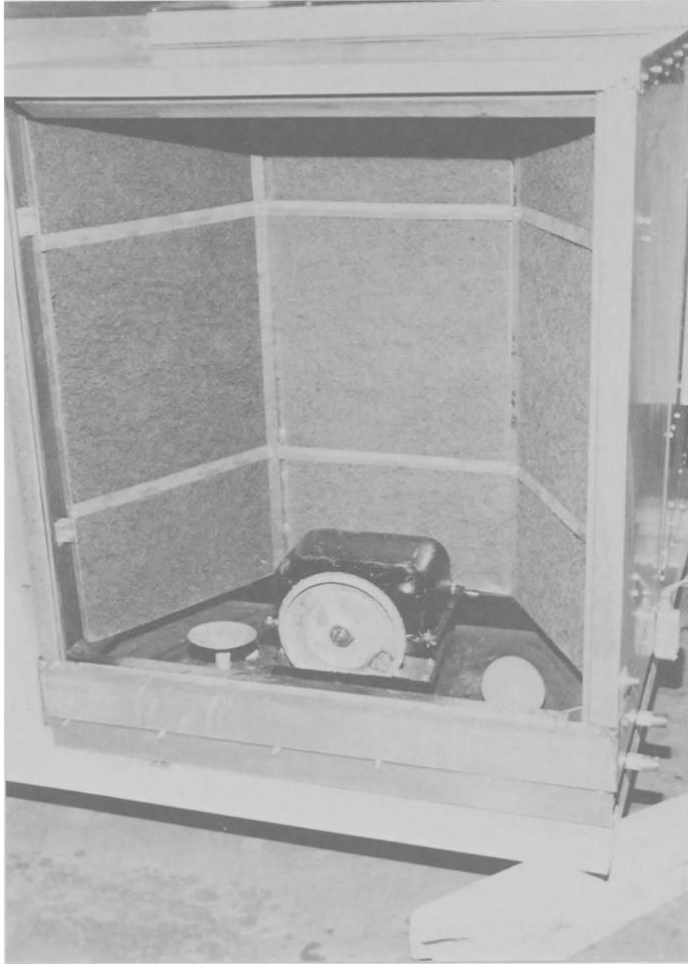
از آنجا که سطح فیلتر توسط حجم چرخ پرتاب محدود می‌شود، سرعت جریان هوا در ورود به ۳۰۰ تا ۵۰۰ fpm (۹۱/۴ تا ۱۵۲/۴ m/min) رسیده و موجب ترغیب نفوذ آب به درون جریان هوا می‌شود. بنابراین، تمام سازندگان از قطره‌گیرها یا فیلترهای خشک‌کن یک یا دو اینچی (۲/۵۴ یا ۵/۰۸ cm) در پشت پدهای خیس استفاده می‌کنند. این اجزا، افشانه‌های فراری را گرفته و تبخیر کرده و موجب حفاظت از فن، موتور، و اجزای الکتریکی می‌شوند (به شکل ۲ این فصل مراجعه کنید).

هوای ورودی حداقل سه بار با آب تماس می‌یابد: صفحاتی از قطرات در حال پرواز به موازات وجوه پد، فیلترهای اشیاعی که توسط قطرات دریافتی از طریق هوا و از طریق آبی که در پایین آن جریان دارد توسط افشانه برخوردکننده به پانل‌های فلزی بالا و جانبی خیس می‌ماند، و فیلترهای خشک‌کنی که توسط افشانه‌های دمیده شده باقیمانده خیس می‌شود. دو چرخ پرتابی، دو صفحه افشانه ایجاد می‌کنند (به شکل ۳ این فصل مراجعه کنید).

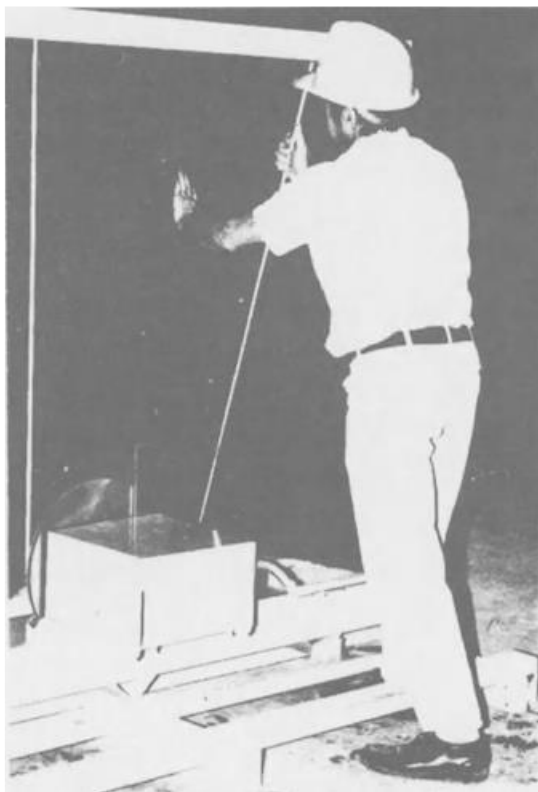
قابلیت انطباق

اغلب کولرها به دو صورت موجود هستند: اول به صورت پد ساده، تشت و بخش سرمایش افشانه‌ای که به یک فن گریز از مرکز خارجی وصل بوده و دوم به صورت پکیج کامل که در آن دو یا چند بخش سرمایش قرار داده شده تا فن گریز از مرکز که دمنده نام دارد را در بر بگیرند.

بخش‌های سرمایشی مجزا می‌توانند به صورت چند تایی ترتیب یابند تا تقریباً هوای شسته شده مورد نظر را ایجاد کنند. برای مثال، دو بخش (مدول) اغلب یک فن تکی بزرگ را که بین آن‌ها قرار دارد تغذیه می‌کنند. در حالت سه مدول یا بیشتر می‌توانند به صورت یک محفظه آب بندی شده^۱ ترتیب یابند که به همراه درهای دسترسی واقع در اطراف می‌باشد. چهار بخش سرمایش ۱۵,۰۰۰ cfm ($7/1 \text{ m}^3/\text{s}$) می‌توانند یک دمنده ۶۰,۰۰۰ cfm ($28/3 \text{ m}^3/\text{s}$) را تغذیه کنند. برای انطباق بیشتر، اغلب مقاطع دمنده می‌توانند به چند اندازه فن مجهز باشند. در نتیجه بیشترین انعطاف پذیری حاصل می‌شود. استفاده از چند بخش سرمایش می‌تواند سرعت هوا در رخ ورودی کولر را کاهش داده و بازده سرمایش را افزایش دهد؛ در عین حال دمنده‌های بزرگتر بازده بیشتری از انواع کوچکتر دارند (به شکل ۴ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۱-مقطع سرمایش یک فن هوای از نوع آبی-پرتابی که نشانگر یک پد سه طرفه برای افزایش مساحت خیس شده است. چرخ پرتاب کننده و موتور آن درون تشت آب رو باز قرار دارند. در سمت راست شیر شناور و در سمت چپ یک لوله قیفی شکل سرریز آب قرار دارد تا افشانه‌های در حال سقوط را گرفته و تخلیه کند.



شکل ۲- نصب یک فیلتر با نام تجاری Bessam-Aire که یک پد اشباع است. این فیلتر انعطاف پذیر بوده و بین ردیف‌های میله‌های عمودی واقع است که بدان شکل مارپیچی (از نمای بالا) می‌دهند. در نتیجه مساحت فعال آن ۴۵ درصد افزایش یافته که موجب ظرفیت و بازده بالاتری می‌شود. امکان برداشتن سریع میله‌ها موجب سهولت و تسریع در تمیزسازی پد می‌شود.

پدهای اشباع یا "فیلترها"

بزرگترین سازنده این نوع کولرها از فیلترهای گرد و غبار تختی استفاده می‌کند که دارای الیاف مجعد با پوشش لاتکسی است که درون یک قاب از فولاد گالوانیزه قرار داشته و توسط یک توری سیمی با اندازه سوراخ نیم اینچ (۱/۲۷ cm) در هر طرف پوشیده شده‌است. تمام این اجزا به سادگی قابل باز شدن بوده تا بخش افشانه نمایان شود.

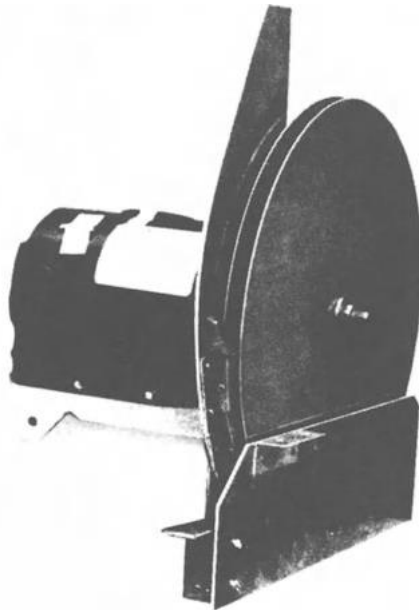
فیلترهای اشباع تخت بوده و از همان جنس درون قاب تشکیل شده که دارای گیره‌های فلزی هستند که آن‌ها را به یک توری گالوانیزه مشابه محکم می‌کند. فیلترهای خشک کن یا قطره گیر مشابه بوده و

با فیلترهای اشباع قابل جابجایی هستند. تمام این‌ها بدون استفاده از ابزار، از طریق ورودی هوا قابل باز و بر داشتن هستند.

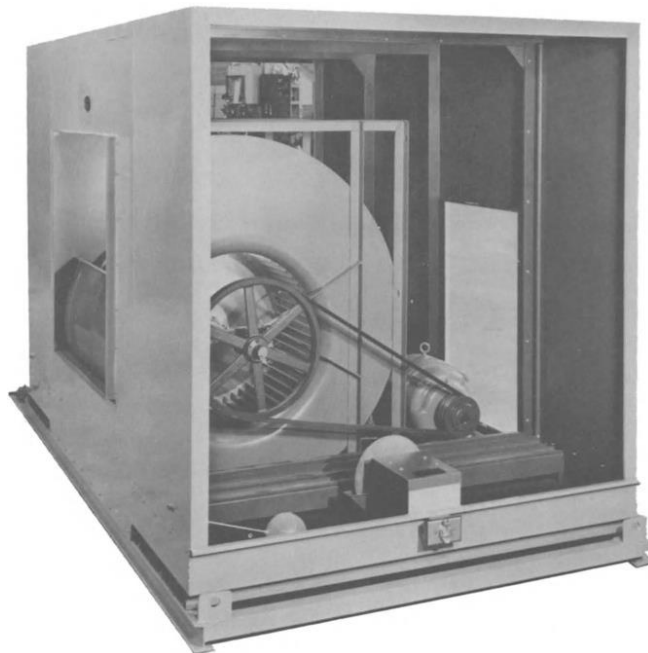
ماده پد به اندازه پوشال‌های تازه نمی‌تواند هوا را خنک کند ولی چگالی و قابلیت خیس شدگی یکنواختی داشته و در برابر شکم دادن و فساد مقاوم است. بدین ترتیب عملکرد یکنواختی برای ماه‌های مدید دارد. این پدها قابل تمیز شدن هستند ولی توصیه می‌شود که هر سال تعویض شوند. اغلب وقتی فیلترهای اشباع جدید نصب می‌شوند فیلتر قدیمی به عنوان قطره‌گیر جدید عمل می‌کند و طول خدمت آن‌ها به ۲۴ ماه می‌رسد.

فیلترهای مارپیچی یک سازنده دیگر بدون قاب است. در عوض آن‌ها از ورق‌های ضخیم یک اینچی انعطاف پذیری بهره می‌گیرند که جنس آن مشابه بوده و بین میله‌های عمودی که فاصله بین آن‌ها مانع از افزایش سطح کل می‌شود پیچ می‌شوند. میله‌ها برای جایگزینی پد به کار می‌روند.

سازنده سوم از فیلترهای تخت الیافی کم بازده‌تری استفاده می‌کند که درون قاب فلزی قرار دارد. در صورتی که به میزان اشباع ۸۰ درصد نیاز باشد، سرعت هوا در رخ ورودی در کم‌تر از ۳۰۰ (۱/۵ m/s) نگه داشته می‌شود.



شکل ۳- یک چرخ پرتابی دو تایی بزرگ با نام تجاری Bessam-Aire. دو دیسک آلومینیمی ۱۵ اینچی (۳۸/۱ cm) به موتور سه چهارم اسبی اجازه می‌دهند که کاملاً بیرون از آب قرار گیرد. آن‌ها در اثر پرتاب، دو صفحه از قطرات پرواز کننده ریز ایجاد می‌کنند که بیشتر هوا را قبل از ورود به پد، خنک و تمیز می‌کند.



شکل ۴- یک کولر با چرخ پرتابی دو تایی بزرگ با نام تجاری Alton که پدهای آن برداشته شده است. دو چرخ پرتابی مستقل مربوط به بخش سرمایش (یکی در هر طرف فن) بین ۱۸,۰۰۰ تا ۲۸,۰۰۰ cfm تا $1/5$ تا $13/2 \text{ m}^3/\text{s}$ تحویل می دهند. به لبه نازک چرخ پرتابی، شناور آب ورودی و درب دسترسی توجه کنید. این دستگاه از نظر قابلیت اطمینان شهره هستند ولی به منظور ایجاد یکنواختی از نظر خیس شدگی دارای محدودیت در اندازه و شکل پد هستند.

وسایل خیس کننده پد و مشکلات آنها

همانگونه که ذکر شد، چرخ‌های آبی-پرتابی دارای موتور برقی بوده که قسمتی از چرخ آن به صورت عمودی در آب فرو رفته و در اثر حرکت گریز از مرکز، صفحاتی از قطرات را به صورت رو به بالا به سمت فیلترهای اشباع می پراکنند. برخی از این چرخ‌ها از جنس ضد آب ساخته شده و نیمی از آن درون آب قرار می گیرند که سوراخ‌هایی برای تهویه موتور دارند. موتور آنها اغلب آنها دارای دو شفت است تا در صورت لزوم دو چرخ را بگردانند.

سایر سازندگان، موتورهای برقی که اغلب دارای شفت فولادی زنگ نزن هستند را درون محفظه ضد افشانه‌ای در بالای آب قرار داده و از چرخ پرتابی استفاده می کنند که دیواره آن در آب فرو رفته یا به زیر آن می دمند. برخی دارای دو دیواره (طوقه) بوده تا دو صفحه موازی افشانه را ایجاد کنند.

طراحی چرخ‌های پرتاب آب هر چه باشد، این کولرها در مقایسه با سیستم پمپ گردش معادل، دارای گرفتگی یا رسوب پوسته‌ای کمتری بوده و یخ زدگی زمستانی آن‌ها نیز کمتر احتمال دارد. البته لازم است که کنترل سطح آب در آن‌ها دقیق‌تر باشد.

این چرخ‌ها اغلب در قسمت میانی و پایین سمت ورودی پد و در فاصله چند اینچی آن هستند تا صفحات آب پاشیده شده به موازات آن بالا آمده و به قطرات ریزی تجزیه شود که به سادگی به درون پد کشیده می‌شود. وقتی پدها به صورت V یا U ترتیب می‌یابند، موتورهای با شفت دو طرفه دو چرخ را به گردش در می‌آورند تا پاششی به صورت دو سطح موازی ایجاد کنند.

متاسفانه، پرده‌های افشانه از نظر چگالی تغییرات زیادی دارند. این پرده‌ها در نزدیک طوقه متحرک بالایی سنگین‌تر بوده و چگالی افشانه هم به صورت شعاعی با مربع فاصله تغییر کرده و از چپ به راست (بر حسب جهت دوران) نیز کم می‌شود. گوشه‌های پد، به ویژه آن‌هایی که مجاور طوقه‌های متحرک در جهت رو به پایین هستند، معمولاً نسبتاً خشک هستند. الگوی خارج از مرکز افشانه چرخ پرتاب مستلزم تنظیمات دقیقی است تا پد را به صورت یکنواخت خیس کند ولی با تغییر ناچیزی در سطح آب دچار تغییرات عمده‌ای شده در نتیجه حتی کولرهای با طراحی خوب نیز دستخوش عملکرد متغیری می‌شوند.

این اختلافات، که ذاتاً در توزیع گریز از مرکز وجود دارد، از طریق یک سطح متعادل در فیلترها و ایجاد یک شکل مربعی برای آن‌ها کنترل می‌شود. یکی از سازندگان، یک چرخ پرتاب با افشانه $5/5$ ($2/8$ l/min) به هر 25 فوت مربع ($2/32$ m²) از سطح پد را برای خروجی 6000 cfm به کار گرفته است. به علاوه از چرخ‌های پرتابی دو تایی استفاده می‌شود تا دو صفحه از افشان ایجاد شود که با هم چند اینچ فاصله دارند.

یک سازنده دیگر، به ازای هر فیلتر تا 25 فوت مربع ($2/32$ m²) از یک چرخ پرتاب استفاده کرده و از آن به بعد ضخامت پد را افزایش می‌دهد تا بتوان دو چرخ پرتاب را که در امتداد لبه پایین قرار می‌گیرند، مستقر نمود. حداکثر مساحت پد حدود 40 فوت مربع ($3/72$ m²) است.

ناتوانی چرخ‌های تکی در خیس کردن یکنواخت فیلترهای مربعی بزرگتر از 5 ft ($1/52$ m) یا چرخ‌های دو تایی برای فیلترهای مربعی بزرگتر از 6 ft ($1/83$ m) موجب محدودسازی حداکثر خروجی بخش سرمایه‌ش تا $20,000$ cfm ($9/4$ m³/s) شده که در صورت نیاز به بازده سرمایه‌ش بیشتر از این مقدار نیز کاسته می‌شود. بنابراین، برای کسب جریان‌های بیشتر، همانگونه که قبلاً ذکر شد باید از بخش‌های سرمایه‌ش چند تایی استفاده شود. استفاده از پمپ و شیپوره (نازل) به جای چرخ پرتاب باید امکان

استفاده از فیلترهای بزرگتر را بدهد. به علاوه، به نظر قطعی می‌رسد که آن‌ها می‌توانند طی میزان گردش آب یکسان، میزان خیس شدگی یکنواخت‌تری را ایجاد کنند.

آب چسبناک و نسبتاً سنگین است در نتیجه خرد شدن آن به قطرات و پاشش آن در عرض فیلترها موجب مصرف توان می‌شود. توان موتور کولرهای با چرخ پرتاب یکی از تولیدکنندگان از $\frac{1}{15}$ تا $\frac{1}{4}$ اسب بوده که چهار موتور از نوع قوی‌تر، برای کولرهای ۲۴,۰۰۰ cfm ($11/3 \text{ m}^3/\text{s}$) استفاده می‌شود. یک سازنده کولرهای بزرگ از چرخ‌های پرتاب با توان $\frac{3}{4}$ اسب استفاده می‌کند که در روی هر کولر دو تا از آن‌ها نصب شده و ظرفیت کولر نیز بیش از ۲۴,۰۰۰ cfm ($11/3 \text{ m}^3/\text{s}$) است. سازنده سوم از چرخ‌های پرتاب با توان $\frac{3}{4}$ اسب برای کولرهای تا ۶۰۰۰ cfm ($2/8 \text{ m}^3/\text{s}$) و با توان $\frac{1}{4}$ اسب برای اندازه‌های بزرگتر استفاده کرده که برای کولرهای با اندازه متوسط از دو چرخ و برای اندازه‌های بزرگتر تا ۳۱,۵۰۰ cfm ($14/9 \text{ m}^3/\text{s}$) از سه چرخ استفاده می‌شود.



شکل ۵- کولرهای چند تایی با چرخ پرتاب با نام تجاری Bessam که یک دمنده بزرگ را تغذیه می‌کنند. از آنجا که دینامیک چرخ پرتاب موجب محدودسازی اندازه کولر تکی می‌شود، کاربرد چندتایی برای ایجاد جریان‌های بزرگ رواج دارد. فضای کنار کولر سمت راست موجب دسترسی به دمنده می‌شود. استفاده از کولرهای مشابه موجب کاهش در هزینه‌های نگهداری و تعمیرات می‌شود.

پاشش به پد توسط پمپ و شیپوره

سیستم جدید پاشش به پد توسط پمپ و شیپوره می‌تواند توان را به خوبی صرفه جویی کند. برای مثال، در صورت نصب در کولری با ۳۶ فوت مربع ($3/34 \text{ m}^2$) فیلتر، به جای استفاده از یک چرخ پرتاب پمپ می‌تون از یک پمپ مناسب استفاده کرد. البته به نظر می‌رسد متاسفانه شیپوره‌ها همواره در معرض سایش و گرفتگی بوده و با رکورد قابلیت اطمینان چرخ پرتاب برابری می‌کنند. به نظر می‌رسد در اطراف پمپ باید از توری بهتری استفاده کرد و تعداد فیلترهای گرد و غبار را نیز بیشتر کرد زیرا دلیل اصلی سایش شیپوره و پمپ گرد و خاک است (به شکل‌های ۶ و ۷ این فصل مراجعه کنید).

تأثیر تمیزسازی هوا

هوا معمولاً به صورت مکرر از یک یا دو صفحه مشبک افشانه عبور کرده و سپس از میان پدهای اشباع و قطره‌گیر نیز می‌گذرد (در مکان‌های پر گرد و خاک یا دوده فیلترهای گرد و غبار می‌توانند در جلوتر قرار بگیرند). اغلب گرد و خاک، دوده یا گرده‌های هواپردی که به افشانه می‌رسند شسته شده یا در مقابل پدهای اشباع به تله افتاده و به پایین شسته می‌شوند.

گرفتگی پد نسبتاً کند است. بیشتر آب پس از پد به محفظه بالایی برخورد کرده و به پایین پد سرازیر می‌شود و ذرات گیر کرده را می‌شویند. حجم آب و موینگی کم، به خصوص در پد پوشیده از لاتکس، موجب آب‌کشی سریع شده که موجب تجمع اغلب ناخالصی‌ها به صورت لجن قابل پاک شدن در تشت می‌شود. میزان گرفتگی با استفاده خودکار از آب دور ریز (آبی که با تخلیه خود مواد جامد محلول را نیز خارج می‌سازد.) به حداقل می‌رسد. خروجی‌های کیفی شکل درون تشت به صورت پیوسته بخش کوچکی از افشانه و محتویات آن (مواد نامحلول) را گرفته و تخلیه می‌کند. این خروجی‌ها به عنوان یک سرریز، برای ایجاد بهترین سطح آب جهت عمل پرتاب آب نیز عمل می‌کنند. وقتی کولر در حال کار بوده و ناگهان خاموش می‌شود، میزان اتلاف محاسبه شده موجب محدود شدن غلظت مواد معدنی می‌شود.

البته، به دلیل پوشش افشانه‌ای اغلب غیریکنواخت، خشک شدن متناوب برخی سطوح پد موجب تشکیل موضعی رسوبات پیوسته‌ای می‌شود. در یکی از این نوع کولرها از شیرهای تخلیه سریعی استفاده می‌شود که به صورت خودکار در فواصلی به مدت نامعین باز شده تا موجب پاک سازی مواد معدنی و جامدات تجمع یافته شود.

برخی سازندگان، محفظه‌ها یا سبدهای غوطه‌وری (مستغرق) را به منظور تصفیه آب ارائه کرده‌اند که که از موادی مثل هگزا متا فسفات سدیم قالبی یا ترکیبات تانین (جوهر مازو) در آن استفاده می‌شود.

با قرار دادن آن‌ها، این مواد به تدریج درون آب تشت حل می‌شود. در نتیجه قابلیت انحلال آب افزایش یافته و میزان تشکیل رسوب کاهش می‌یابد. همچنین رسوبات تشکیل شده قبلی نیز نرم و پفکی شده و به راحتی پاک می‌شوند. در نتیجه لزوم استفاده از آب دورریز رفع شده و صرفاً در موارد معدودی بدان احتیاج خواهد شد.

نام مناسب برای این کولرها

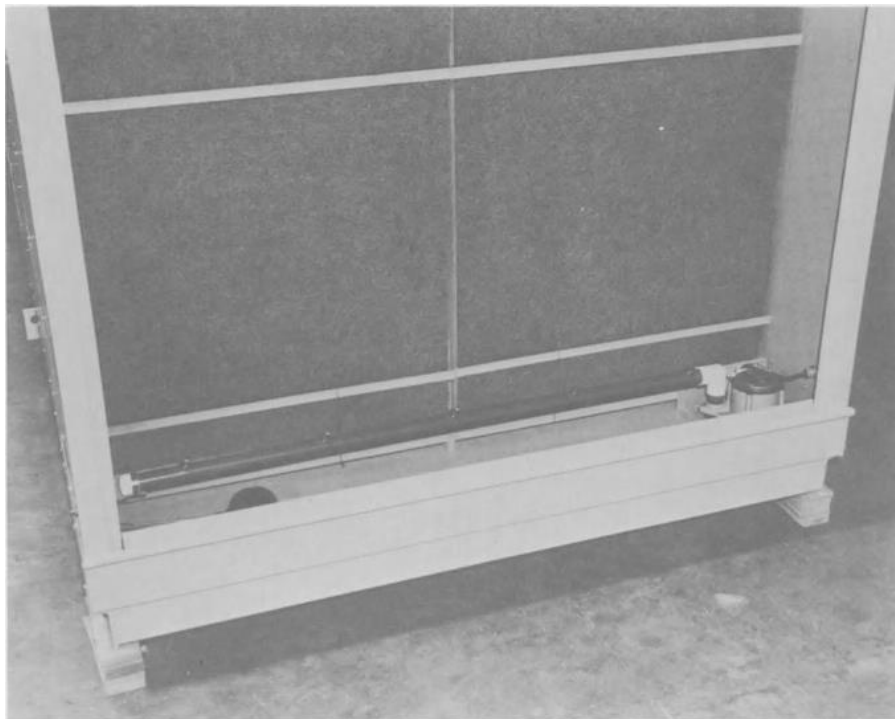
علیرغم موفقیت این کولرها در فیلترسازی هوا اطلاق نام هواساز بدان‌ها اشتباه است. این نام به صورت تاریخی به "نوع افشانه‌ای"، "محفظه افشانه‌ای" یا هواسازهای "تجاری" اطلاق می‌شود که در سال ۱۹۰۶ اختراع شدند (به فصل ۱۱ مراجعه کنید). بهتر است کولرهای مورد بحث در اینجا را "کولرهای تبخیری با پد پاششی" نامید. این نام لزوماً شامل هواسازهای نوع سلولی مذکور در فصل ۱۱ شده و عملکرد بهتری دارد.

تأثیر سرمایش

هوا و آب حداقل سه بار با هم تماس می‌یابند. سرعت در رخ ورودی که معمولاً بالا است مانع از ایجاد بازده سرمایش بالاتر از ۸۰ تا ۹۰ درصد می‌شود. عملکرد معمول در 300 fpm ($1/5 \text{ m/s}$) در حدود ۷۵ درصد، در 400 fpm (2 m/s) حدود ۷۳ درصد و در 500 fpm ($2/5 \text{ m/s}$) نیز حدود ۷۰ درصد است. یکی از سازندگان که سرعت‌های خود را ذکر نکرده، بازده ۷۵ درصد را تضمین کرده و سازنده دیگر با استفاده از چرخ پرتاب دو تایی به بازده ۸۰ درصد رسیده است. در صورت نیاز به اشباع شدگی بالا می‌توان از دو دستگاه سرمایشی به صورت موازی استفاده کرد.



شکل ۶- یک دستگاه سرمایشی با پد پاششی با نام تجاری Alton که به منظور جایگزینی کولرهای با چرخ پرتاب ساخته شده است. یک پمپ گریز از مرکز غوطه‌ور در مرکز تشت آبی از جنس فولاد زنگ نزن قرار دارد. زانویی سفید روی لوله تخلیه، دارای یک شیپوره است که به صورت رو به بالا و به موازات پد، یک صفحه نازک به شکل فن را از قطرات نازک تشکیل می‌دهد تا هوا به داخل آن جریان یابد. ادعا شده که این کولر با توان کمتر، قادر به خیس‌کنندگی یکنواخت پد است. البته، سایش و گرفتگی پد رخ می‌دهد. توجه شود که فیلتر گرد و غبار سمت چپ در مقایسه با کولرهای با چرخ پرتابی که حجم آب پاششی بالاتر آن پدها را می‌شویند باید شدیدتر عمل کند.



شکل ۷- یک دستگاه با پد سرمایشی متفاوت از Alton. این کولر دارای چرخ پرتاب با پد کوچک، پمپ و شیپوره پاشنده‌ای است که خیس شدگی معادل را بر روی پدهای بزرگتر با توان کمتر تضمین می‌کند. در سمت راست، یک پمپ غوطه‌ور درون تشت یک لوله عمودی (هدر) را با پنج شیپوره متصل تغذیه کرده تا صفحاتی از افشانه ریز به شکل فن را در جلوی پد ایجاد کند. هدرها می‌توانند در طول‌های متفاوت بوده و پدهای بلندتر می‌توانند دارای ردیفی از شیپوره با ارتفاعات متفاوت باشند.

ساختار کولر و جنس آن

پس از تحویل و نصب، کولرهای با چرخ پرتاب در معرض ضربه یا تنش‌های مخرب قرار می‌گیرند. بزرگترین دشمن این کولرها خوردگی در اثر افشانه پر اکسیژن، اسیدی شدن توسط CO_2 اتمسفر یا در بسیاری از شهرها توسط SO_2 صنعتی است.

با توجه به طراحی این کولرها برای نصب دائمی، این دستگاه‌ها اغلب از فولاد بسیار گالوانیزه در ساخت تشت پایین، گوشه‌ها، تکیه گاه‌های پد و غیره استفاده کرده و برای بدنه کولر نیز از فولاد گالوانیزه شماره ۱۶ یا ۱۸ (۱/۲۹ یا ۱/۰۲ میلی‌متر) استفاده می‌شود. تمام بخش‌های در معرض افشانه، به منظور مقاومت در برابر خوردگی، عمیقاً گالوانیزه می‌شوند. بیشتر فلزات توسط اکسید روی، رنگدانه

آلومینیوم^۱ یا رنگ‌های آسفالتی محافظت بیشتری می‌شوند. تشت‌های داخلی و سایر قسمت‌های در معرض آب می‌تواند از فولاد زنگ نزن بوده که البته نوع بسیار گالوانیزه آن رایج‌تر است. در صورت استفاده از فولاد، هیچ فلزی به استثنای برنز یا برنج نباید با آن یا آب تشت تماس داشته باشد.

مزایا و معایب

نه تنها قیمت کولرهای با چرخ پرتاب حدود دو برابر کولرهای آبی است بلکه به دلیل سرعت بالاتر هوا، از طریق دو پد سری، به علاوه فیلترهای گرد و خاک مستلزم توان فن بیشتری بوده و همچنین توان توزیع آب نیز به دلیل حجم بیشتر آب و نیاز به اتمیزه سازی و پرتاب آن نیز بیشتر است. نتیجه یک تحقیق توسط مولف نشان داد که کولر با چرخ پرتاب ۲۸/۹ درصد حجم هوای کمتری را به ازای هر اسب توان فن و ۳۷/۴ درصد کمتر به ازای توان کل تحویل می‌دهد. به علاوه، افشانه اضافی که، قبل از فیلترهای اشباع، به بدنه اطراف برخورد می‌کند اغلب موجب سر و صدا می‌شوند.

البته کولرهای با چرخ پرتاب، عمر طولانی داشته و به شدت مطمئن بوده و تقریباً به هیچ نگهداری نیاز نداشته و بدون هیچ بویی دارای عملکرد ثابتی برای طولانی مدت بوده و هوا را تقریباً از هر ذره جامدی پاک می‌کند. آن‌ها از کولرهای آبی، قابلیت انطباق بالاتری داشته و می‌توانند به صورت آرایه‌ای از بخش‌های سرمایشی و مدول‌های فن در آیند تا تقریباً با هر کاربرد تجاری و صنعتی منطبق شوند.

به خاطر این مزایا، مرکز آزمون Naval Ordnance در اینیوگرن کالیفرنیا، بیش از ۱۸۰۰ کولر تبخیری از انواع مختلف را برای سالیان سال در شرایط اقلیمی پر گرد و خاک با آب سخت نگهداری کرده و عملکرد کولرهای با چرخ پرتاب را رضایتبخش دانسته ولی ضریب تاثیر ماشین‌های با پد دوار را ترجیح داده‌است.

کولرهای تبخیری با پد دوار

این نوع منحصر به فرد و غیر معمول کولر مستقیم، گران‌ترین و پرمصرف‌ترین کولر به ازای هر واحد توان خروجی است. البته به نظر این کولر کم زحمت‌ترین کولر بوده و انتخاب اول بسیاری از کاربران است (به شکل ۸ این فصل مراجعه کنید).

کولرهای با پد دوار در دهه ۱۹۳۰ عرضه شدند اما در دهه ۱۹۴۰ رواج پیدا کردند. با توجه به قیمت بالای آن‌ها، این کولرها تقریباً تنها در ساختمان‌های غیر مسکونی به کار می‌روند. شاید بیشترین

کاربرد این کولر در پایگاه‌های نظامی کالیفرنیا و آریزونا است که انواع مختلفی سازه نظیر آشیانه‌ها و کارگاه‌های بزرگ را خنک می‌کند.

در کارخانجات، نوردسازی‌های فولاد، ساختمان‌ها و ایستگاه‌های راه آهن، دبیرستان‌ها، بیمارستان‌ها، بانک‌ها، کتابخانه‌ها، ساختمان‌های دادگستری، سوپرمارکت‌ها، فروشگاه‌های زنجیره‌ای، کافه تریاها، آزمایشگاه‌های تحقیقاتی، ساختمان‌های اداری و دانشگاهی، و بسیاری ساختمان‌های دیگر از این کولرها با موفقیت استفاده می‌شود. در پایگاه‌های نظامی مثل China Lake, Inyokern در کالیفرنیا این کولرها به دیگر انواع کولرهای تبخیری ترجیح داده شده‌اند که دلیل آن عمر طولانی، نگهداری کم و ظرفیت بالا است.

این کولرها به دو صورت موجود هستند: به صورت لخت (غیرکامل) و کامل. در حالت لخت این کولرها شامل چرخ، موتور و یاتاقان‌ها، مخزن مرطوب کننده، چارچوب و درزبندهای مربوط به لبه‌ها برای کاهش نشتی هستند. بسیاری از کاربران این مجموعه را خریداری کرده و خود دیوارها، فیلترها، فن‌ها و کانال‌ها را اضافه می‌کنند. در هنگام نصب به منظور ساختمان‌ها یا کاربردهای ویژه می‌توان انعطاف‌پذیری بالایی را ایجاد کرد.

چارچوب کولرهای دوار دارای وجه مربعی با فلنج‌های متعدد است که موجب سهولت در نصب آن‌ها می‌شود. این امر موجب نصب یکسان و لب به لب کولرهای یکسان به صورت افقی یا عمودی می‌شود. بدین ترتیب بین دو تا دوازده کولر را می‌توان به صورت فشرده درون دیوار یک اتاق (موتورخانه) نصب کرد و با یک یا چند فن آن‌ها را تغذیه کرد. مولف، ۹ کولر دوار را مشاهده کرده که به صورت سه تایی در بالای دیوار نصب شده و توسط دو دمنده بزرگ تغذیه می‌شدند (به شکل‌های ۸ الی ۱۱ این فصل مراجعه کنید).

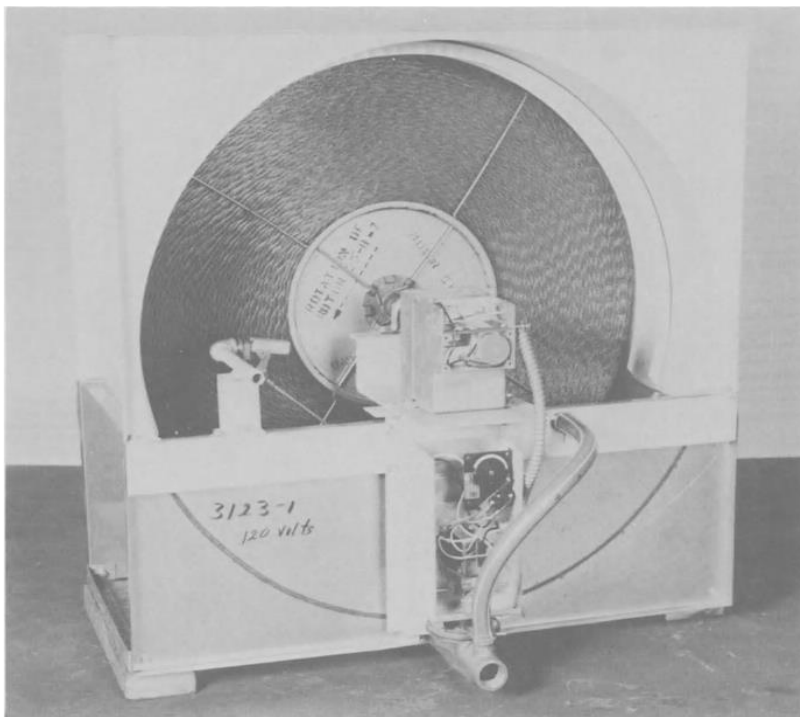
سازنده این کولرها، واحدهای هوا رسانی را تولید می‌کند که کوره‌های گازسوز را با سرمایش دوار ترکیب می‌کند. کولرهای دوار زیادی به عنوان مرحله دوم به کولرهای تبخیری غیرمستقیم استفاده می‌شوند تا هوایی برابر با دمای مرطوب (wb_t) هوای بیرون یا کمتر را تولید کنند. به هر حال به نظر می‌رسد که استفاده از این کولرها رو به رشد است.

در حالتی که این کولرها به صورت کامل استفاده می‌شوند این کولرها شامل فیلترهای گرد و غبار، مجموعه‌های پد دوار و امکان استفاده از فن گریز از مرکز هستند که تماماً درون محفظه‌های فلزی ضد آب قرار دارند. وجود چند اندازه برای فن و موتور موجب حصول محدوده وسیعی از خروجی برای سیستم‌های کانال‌کشی با مقاومت جریان متفاوت می‌شود. محفظه بسته اجازه می‌دهد که این کولرها را در پنجره‌های بزرگ، فضاهای زیر شیروانی، زیرزمین، پشت بام، بالکن، یا قرنیزهای جلوی اتاق‌های

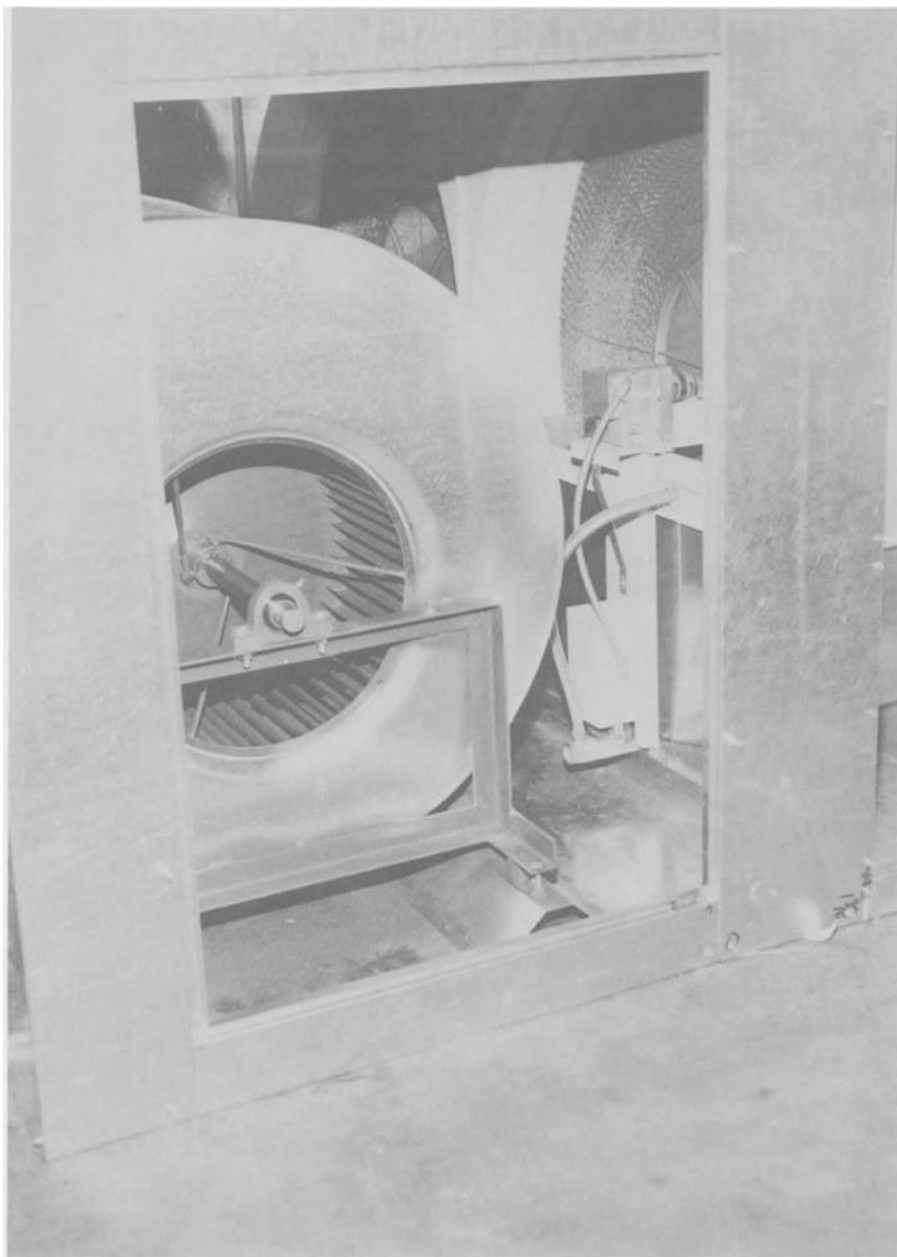
بزرگ نصب کرد. بدین ترتیب هزینه نصب حداقل می‌شود. کولرهای کامل زیر $10,000 \text{ cfm}$ (m^3/s) (۴/۷) دارای چرخ تکی و دمنده واحد هستند. در بالاتر از این ظرفیت کولر دارای دو بخش سرمایشی و دو دمنده است.

این کولرها دارای بدنه صلب از فولاد گالوانیزه شماره ۱۶ ($1/29 \text{ mm}$) هستند که در هر طرف خود دارای در بوده تا بتوان به هر دو فن و موتور و همچنین پدهای دوار و موتورهای آن‌ها و کنترل‌های تخلیه دسترسی پیدا کرد.

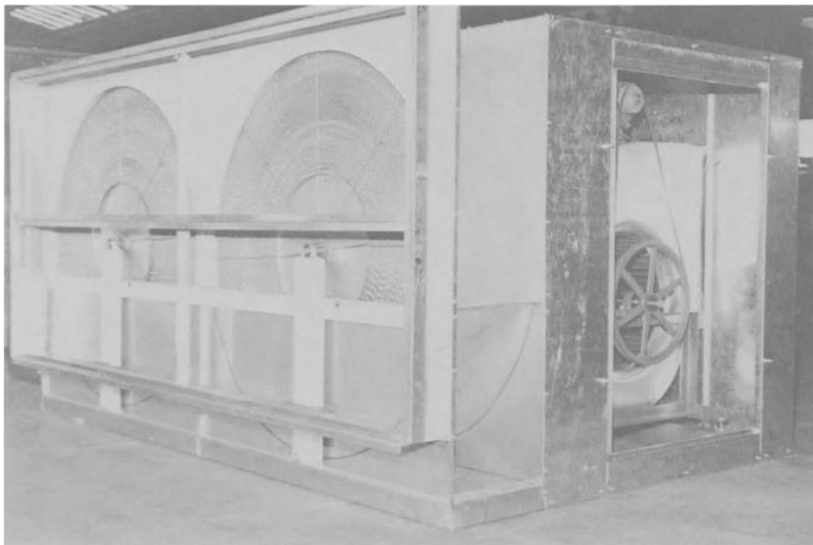
فیلترهای گرد و غبار، با دور نگ داشتن مواد معدنی هوابرد از پد و آب، موجب کاهش نگهداری و تعمیر و مشکلات خوردگی می‌شود. رسوبات پوسته‌ای بر روی پدهای محافظت نشده معمولاً حاوی ۵۰ تا ۷۰ درصد گرد و خاک است. این مقدار می‌تواند موجب گرفتگی مجاری پدها شده و ضمن افزایش سرعت هوا در پدها که در نهایت باعث حمل آب به همراه هوا و زنگ‌زدگی فن‌ها، بدنه و غیره می‌شود، ظرفیت کل کولر را کاهش می‌دهد.



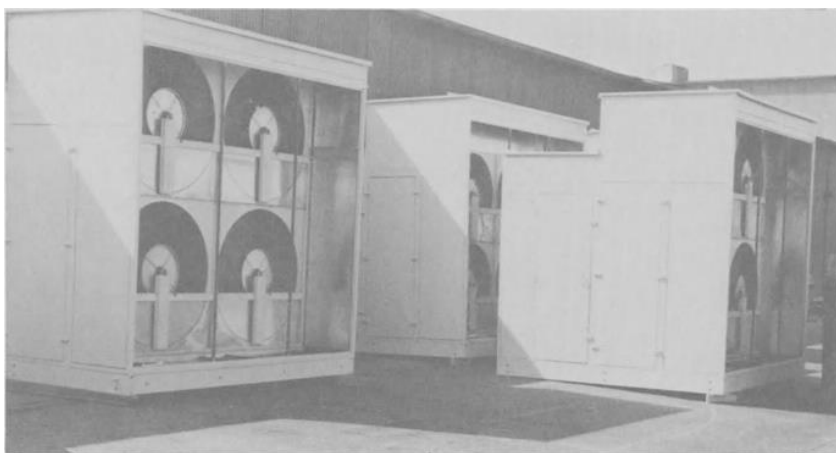
شکل ۸- یک بخش سرمایشی دوار با نام تجاری Airfan با مخزن فولادی زنگ نزن. در سمت چپ در فضای جریان هوا، شیر شناور و اتصالات مربوط به آب تازه نصب است. در وسط نیز موتور با اتصال دنده‌ای مستقیم برای روتور قرار دارد. در زیر آن یک شیر برقی برای آب دورریز وجود دارد که دارای یک سرریز به صورت یک لوله خمیده رو به پایین است.



شکل ۹- بخش دمنده یک کولر دوار کامل با نام تجاری Airfan. روتورهای این کولر دوار (سمت راست)، هوای دمنده (سمت چپ) را برای تحویل خنک می‌کنند. درب دسترسی باز، نشانگر یک موتور محرک روتور و یک شیر تخلیه در زیر آن است. این کولرها در اندازه‌های مختلفی موجود هستند. فن‌های بزرگ کارآمد به غلبه بر مقاومت استاتیک روتورها کمک می‌کنند.



شکل ۱۰- بخش‌های سرمایشی با دو دمنده دمنده یک کولر دوار با نام تجاری Airfan. توجه کنید که طاقچه‌های نصب شده در چپ برای فیلترهای بزرگ گرد و غبار است. با توجه به نصب و تجهیز شیر تخلیه خودکار و سرریز، این کولرها تقریباً عاری از رسوب پوسته‌ای بوده و نیاز اندکی به افزودنی‌های شیمیایی دارد. تقریباً هیچ کولری نیاز به نگهداری و تعمیر چندانی ندارد.



شکل ۱۱- واحدهای سرمایشی چند روتوره با نام تجاری Airfan. دمنده‌های سمت چپ درون بدنه، هوا را از طریق چهار روتور می‌کشند. دهانه‌های قاب‌دار بزرگ ورودی هوا در سمت راست امکان استفاده از فیلتر گرد و غبار را می‌دهند. از آنجا که قطرهای موثر روتور توسط نرخ‌های تبخیر آب محدود می‌شود و سطوح جانبی نیز توسط مخازن آب و تویی چرخ کاهش می‌یابد لذا استفاده از بخش‌های سرمایشی چندگانه رایج است. استفاده از سه واحد به صورت روی هم نیز چندان غیر معمول نیست.

روتورها

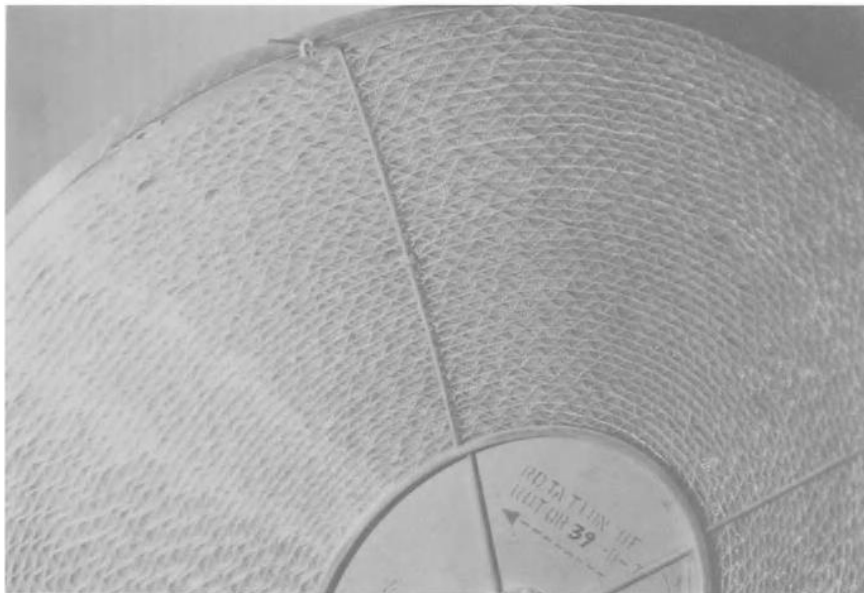
قلب این کولرها پدهای دوار است. این پدها به صورت عمودی و در قالب پدهای اشباعی به شکل چرخ با ضخامت ۵ اینچ (۱۲/۷ cm) و قطر ۲۶ تا ۵۴ اینچ (۶۷ تا ۱۳۷ cm) بوده که از لایه‌های مارپیچی بافته شده از سیم توری برنزی تشکیل شده‌اند که به صورت یک در میان تخت یا تاب‌دار هستند. محیط این پد با کانال‌هایی از فولاد زنگ نزن تقویت شده که به گیره‌هایی از فولاد زنگ نزن جوش داده می‌شوند که به منظور تقویت جلو و عقب چرخ به مرکز متصل هستند. درزگیرهای قفل‌شونده درون محفظه بر کانال‌های فولادی محیطی سوار شده تا مانع از نشتی بیش از ۲ درصد از ظرفیت جریان چرخ شوند (شکل ۱۲).

روتورها بر روی شفت‌های فولادی زنگ نزن افقی می‌گردند که بر روی بلب‌رینگ‌های آب‌بندی شده قرار داشته که یک سوم پایینی آن‌ها درون مخزن آب فولادی زنگ نزن غوطه‌ور شده که موجب شسته‌شدن و خیس شدن توام آن‌ها می‌شود. با چرخش روتورها با سرعت حدود ۲ rpm، که طی آن هیچ گره‌ای خشک نمی‌ماند، هوایی که از توری‌های خیس عبور می‌کند خنک و مرطوب می‌شود. در این بین هیچ آبی پرتاب نشده یا کف نمی‌کند.

این چیدمان دارای تاثیر اشباع‌کنندگی خوب و ماهیت خود تمیزشوندگی بوده که موجب رفع خطر گرفتگی گشته و نرخ تجمع رسوب پایینی دارد. بدین ترتیب، این کولرها موجب سرمایش هوا با ۸۰ درصد کاهش دمای مرطوب شده و در عین حال، حتی در مناطق پر گرد و خاک و دارای آب سخت، هزینه نگهداری پایینی نیز دارند.

ویژگی‌های ضد رسوبی و ضد گرفتگی

همچون سایر کولرهای تبخیری، این کولرها با گرد و خاک و مواد معدنی درون آب مقابله می‌کنند. گرد و خاکی که از فیلترها رد شده و به روتورها می‌رسند در داخل مخازن آب شسته شده و بر کف آن می‌نشینند. تا وقتی که چرخ خشک نشود این مواد معدنی به صورت نامحلول باقی می‌مانند. البته هر بخشی که خشک شود موجب افزایش خطر تشکیل رسوب می‌شود.



شکل ۱۲- نمای نزدیک یک روتور که نشانگر لایه‌های مارپیچی بافته شده به صورت یک درمیان خطی و قطری مشبک چین‌دار بدون زنگ زدگی است. این ترکیب، تونل‌های کوچک قطری مثلثی ایجاد می‌کند که بدون هیچ تغییری در ضریب تاثیر اشباع، موجب تقلیل مقاومت در برابر هوا می‌شود. نوار محیطی موجب کمک به آب‌بندی لبه‌های روتور در داخل محفظه می‌شود.

آب از طریق شیرهای شناور وارد مخازن شده، به طوری که دیافراگم‌های از جنس نئوپرن^۱ آن‌ها از ایجاد رسوب بر روی پلانجرها ممانعت می‌کند. بست‌های موجود در داخل مخازن، آجرهای قابل تعویضی را نگه می‌دارند که حاوی مواد شیمیایی تصفیه‌کننده آبی است که به تدریج حل شده و موجب تاخیر در تشکیل رسوبات نرم و غیر چسبناک می‌شود. معمولاً نیازی به مواد شیمیایی نبوده و اغلب کولرهای دوار بدون استفاده از مواد شیمیایی تصفیه‌کننده آب کار می‌کنند.

ویژگی موثر در عدم تشکیل رسوب همان شستشوی خودکار مخزن است. شیرهای تخلیه دارای دیافراگم برنزی که در پایین مخزن قرار دارند، توسط تایمرهای نصب شده در بالای خود، به صورت مغناطیسی در هر ساعت باز شده و تا ۲/۵ دقیقه، بر حسب شرایط گرد و خاک و آب آن محل، باز می‌مانند. بدین ترتیب در هر ساعتی که کولر کار می‌کند حدود یک سوم آب هر دو مخزن و ظرفیت تبخیر ساعتی کولر آب دورریز را خارج می‌کند. این مقدار کمتر از مقدار مقرر برای دستگاه‌های

۱- Neoprene: یک پلیمر مصنوعی لاستیک مانند مقاوم در برابر روغن، گرما و عوامل محیطی (مترجم)

تبخیری است زیرا فیلترهای هوا و آجرهای شیمیایی احتمالی موجب کاهش احتمال تشکیل رسوب می‌شوند (به شیرهای تخلیه در شکل‌های ۸ و ۹ این فصل مراجعه کنید).

مزایا و معایب کولرهای دوار

کاربران این کولرها مزایای زیر را بر شمرده‌اند:

۱. عدم وجود هیچ چیزی برای خوردگی و تخریب
۲. یکنواختی در بازده کارکرد
۳. عدم وجود پمپ، لوله، روزنه (اریفیس) یا شیپوره تا ساییده یا گرفته شود.
۴. وجود پدهای دائمی بدون شکم دادن یا از بین رفتن
۵. به جز فن سایر توان‌های مصرفی کمتر از ۵۰ وات است.
۶. کارکرد تقریباً کم صدا، بدون صدای پاشش یا افشانش آب
۷. سیستم آب دورریز در کارخانه نصب شده و مانع از بروز اشتباه توسط کاربر می‌شود.
۸. به جز چرخ، تمام قطعات متحرک درون محفظه بوده و در داخل روغن کار می‌کنند.
۹. کولر را می‌توان با قابلیت انعطاف بالایی نصب کرد.
۱۰. عدم نیاز به تعویض سالانه به جز احتمالاً فیلترهای گرد و غبار. بسیاری از آن‌ها را می‌توان شست.

از آنجا که اهمیت توان مصرفی نسبتاً کمتر از طول عمر و هزینه نگهداری پایین است، کارشناسان نیروی دریایی در پایگاه Inyokern ملاحظه کرده‌اند که صداها کولر با پد دوار آن‌ها دارای هزینه اولیه بالایی است. با توجه به آب دورریز کنترل شده، این کولرها حتی می‌توانند در برخی مواقع در مصرف آب صرفه‌جویی کنند.

عیب عمده این کولرها، قیمت بالا و توان نسبتاً بالای فن است. حتی اگر سایر توان‌ها ناچیز باشد و از هواسازها نیز چشم پوشی شود (فصل ۱۱)، توان مصرفی این کولرها در بین کولرهای تبخیری بالاترین است. فن‌های دوار تخت، در اثر غوطه‌وری یک سوم خود در آب و وجود تویی بزرگ، دارای سطح جریان محدودی هستند. برای نیل به ظرفیت اسمی، این کولرها باید دارای سرعت هوای ورودی 700 m/min (۲۱۳/۴) باشند. این امر موجب کاهش زمان تماس آب و هوا شده در نتیجه به روتورهای با ضخامت ۵ اینچ (۱۲/۷ cm) نیاز خواهد بود.

افت فشار نزدیک به ۰/۵ اینچ آب (۱۲۴/۵ Pa) در روتور غالباً با ۰/۱ اینچ آب (۲۴/۹ Pa) افت در فیلترهای گرد و غبار در هنگام کثیف شدن همراه است. در نتیجه، استفاده از فن‌های گریز از مرکز درجه یکی که مشخصات فشار خوبی دارند ضروری است. با این وصف هزینه فن نسبتاً بالا است.

کولرهای با درام (استوانه) دوار

این کولرهای غیر معمول، از یک اصل دورانی متفاوتی بهره گرفته و دارای مزایایی هستند. این کولرها دارای پد چند لایه از توری سیمی هستند که درون سیلندرهای توخالی قرار گرفته و در یکی از مدل‌ها حدود ۳۶ in (۰/۹۱ m) قطر و ۴۸ in (۱/۲۲ m) طول داشته و یک سر آن بسته است. این پدها بر روی یک محور افقی و در حالی که ۲۰ درصد آن درون مخزن آب کم عمقی قرار می‌گیرد به آرامی می‌چرخند. این پدها همراه با پوسته خود دارای ساختار فشرده‌ای هستند.

سر باز پد به فن گریز از مرکزی متصل است که از طریق حدود ۸۰ درصد سطح خیس خود، هوا را به داخل سیلندر کشیده و آن را به صورت هوای شسته شده تحویل می‌دهد. هوا با سرعت ۳۵۰ (۱/۸ m/s) وارد توری شده و با استفاده از پدهای با ضخامت ۲ اینچی (۵/۰۸ cm) ضریب تاثیر سرمایش خوبی داشته و هزینه فن و توان اندکی دارد. آب بندی این کولرها در برابر نشستی هوا ساده‌تر از پدهای دوار تخت است. آزمایشات نشانگر ضریب تاثیر سرمایش ۹۰ درصد است. مزایای اصلی کولرهای با پد دوار در مورد کولرهای با درام دوار نیز صدق می‌کند. لازم به ذکر است که تعداد اندکی از این کولرها وجود دارد.

مؤلف این کتاب، تنها یک مدل قدیمی کوچک پنجره‌ای از این کولر را مشاهده کرده که درام (بخش استوانه‌ای) آن تقریباً یک فوت (۳۰/۵ cm) قطر داخلی، ۲/۵ فوت (۷۶ cm) طول و ۱/۵ اینچ (۳/۸ cm) ضخامت داشت. به صورت محصور با کف خود، این درام به اندازه ۳ in (۷/۶ cm) درون آب بوده و یک فن گریز از مرکز در بالای آن قرار داشت که شفت آن توسط یک تسمه می‌چرخید. هوای بیرون از دو انتهای باز وارد شده و از میان بخش مشبک خیس درام به خارج جریان یافته و توسط فن تحویل داده می‌شد. قابلیت عملکرد و سازنده این کولر نامعلوم است.

برای جزییات یک کولر با درام دوار جدید کوچک برای پنجره منازل و نصب دیواری به فصل ۸ مراجعه کنید.

پرسش‌های دوره‌ای

۱. تفاوت کولرهای آبی و کولرهای آبی-پرتابی (به اختصار پرتابی) را بیان کنید. کدام یک احتمالاً فیلتر گرد و خاک دارند؟ کدام یک دو پد اشباع دارند؟
۲. چگونه کولرهای پرتابی دارای سرعت بالای هوا در رخ ورودی، از ورود آب به درون هوا جلوگیری می‌کنند؟ چگونه است که میزان هوای در معرض آب سه یا چهار برابر است؟
۳. "بخش سرمایش" را با "بخش دمنده" مقایسه کنید. چگونه چند بخش سرمایش می‌توانند در خدمت یک بخش دمنده باشند؟ چرا؟
۴. اغلب فیلترها (پدها) دارای چارچوب صلب هستند ولی برخی از آن‌ها این گونه نیستند. شرح دهید. کدام یک احتمالاً سطح جریان هوای بزرگتری دارد؟ چرا؟
۵. فیلترهای مرطوب کولر پرتابی تا چه حد یکنواخت عمل می‌کنند؟ اگر این گونه نباشد نتیجه چیست؟
۶. چرا موتور کولرهای پرتابی بسیار بزرگتر از موتور پمپ کولرهای آبی است؟ آیا نوع افشانه‌ای-پمپی جدید کولرهای پرتابی قادر به صرفه‌جویی در توان است؟ فیلترهای مرطوب یکنواخت‌تر می‌شوند؟ استفاده از فیلترهای بزرگ چه تاثیری دارد؟
۷. آیا گرفتگی در کولرهای پرتابی کندتر از کولرهای آبی است؟ در صورت بروز رسوب، کدام یک مستعدتر هستند؟ آیا نوع با پمپ افشانه‌ای مانع از آن می‌شود؟
۸. کولرهای پرتابی و کولرهای با پد افشانه‌ای چگونه غلظت مواد معدنی درون آب خود را کنترل می‌کنند؟ آیا مواد شیمیایی افزودنی باعث کاهش این غلظت می‌شوند؟ چگونه؟
۹. نام‌های مناسب برای کولرهای آبی-پرتابی و کولرهای با فیلتر افشانه‌ای-پمپی چیست؟ هواسازها چیستند؟
۱۰. چرا تماس‌های چندگانه آب و هوا در کولرهای آبی-پرتابی و کولرهای با فیلتر افشانه‌ای-پمپی دارای اثر سرمایش ۱۰۰ درصد نیست؟ چه ضریبی بیشتر تاثیر دارد؟ تاثیر مستقیم یا معکوس؟
۱۱. مزایا و معایب کولرهای آبی-پرتابی چیست؟ چرا هزینه توان آن بالاتر از کولر آبی است؟
۱۲. جنس فیلتر کولرهای پرتابی را با فیلتر معادل در کولرهای با پد دوار مقایسه کنید. فیلتر کولرهای با پد دوار چگونه خیس نگه داشته می‌شوند؟
۱۳. چگونه رسوب پوسته‌ای در کولرهای با پد دوار حداقل می‌شود؟ آیا این کار موجب صرفه-جویی در آب می‌شود؟ چگونه؟

۱۴. کولرهای دوار چیستند؟ خریداران آن چه استفاده‌ای از این کولر می‌کنند؟ آیا می‌توان چند تا از این کولرها را با هم نصب کرد تا هوای شسته شده را به یک دمنده تکی تحویل دهد؟ شرح دهید.

۱۵. پنج مزیت کولرهای با پد دوار را شرح دهید. چرا هزینه توان فن آن‌ها نسبتاً بالا است؟

۱۶. چرا باید کولرهای با درام (استوانه) دوار هزینه توان کمتری از دستگاه‌های با پد دوار داشته باشند؟ به ازای خروجی یکسان کدام یک از این دو کولر جمع و جور تر هستند؟ چرا؟

فصل ۱۰

سیستم‌های سرمایش تبخیری ترکیبی

افزایش روزافزون بهای برق و تجهیزات موجب ایجاد انگیزه برای ترکیبات مختلفی از سرمایش تبخیری مستقیم با تهویه مطبوع برودتی و گرمایش می‌شود.

سیستم‌های افزودنی^۱

این دستگاه‌های تبخیری به خانه‌ها یا ساختمان‌هایی اضافه می‌شوند که به سرمایش تبخیری مجهز هستند. این دستگاه‌ها به عنوان "صرفه‌جو" عمل کرده و در مواقعی که رطوبت هوای بیرون مطلوب است جایگزین سیستم‌های برودتی می‌شوند. این سیستم‌ها به صورت متناوب، و نه با همدیگر، عمل کرده در نتیجه در مصرف کمپرسور صرفه‌جویی می‌شود.

در مناطقی که از کولرهای تبخیری استفاده می‌شود که طی هوای خشک تابستانی بازده سرمایش تبخیری بالا رفته در حالی که بازده سیستم‌های برودتی کاهش می‌یابد، صرفه‌جویی در انرژی قابل توجه است. در بسیاری از این گونه مناطق، کولرهای تبخیری در طول ۸۰ درصد از ساعات گرم تابستانی به خوبی عمل می‌کنند. در بهار و پاییز و بسیاری از ساعات شب نیز هوارسانی (بادزنی) ساده توسط کولرهای تبخیری موجب صرفه‌جویی بیشتر در استفاده از کمپرسور می‌شود.

اگر کولرهای تبخیری افزودنی به مدت کافی کار کنند با توجه به قیمت و هزینه جاری نسبتاً ثابت، هزینه برق طول فصل گرما، شرایط آب و هوایی و از این قبیل و نظر استفاده کننده نتیجه خوبی

1- Add-On systems

خواهد داشت. استفاده از این روش در تمام ایالت‌ها و نواحی مرزی نظیر کانزاس، اوکلاهما، آرکانزاس، بیشتر تگزاس، و بخش‌هایی از ایلینوی، ایندیانا، نبراسکا، آیووا، میسوری، تنسی، پنسیلوانیا و حتی جورجیا، که استفاده از سرمایش تبخیری رایج است، می‌تواند مفید باشد. البته مونتانا و داکوتا به دلیل فصل گرمای کوتاه مستثنی هستند.

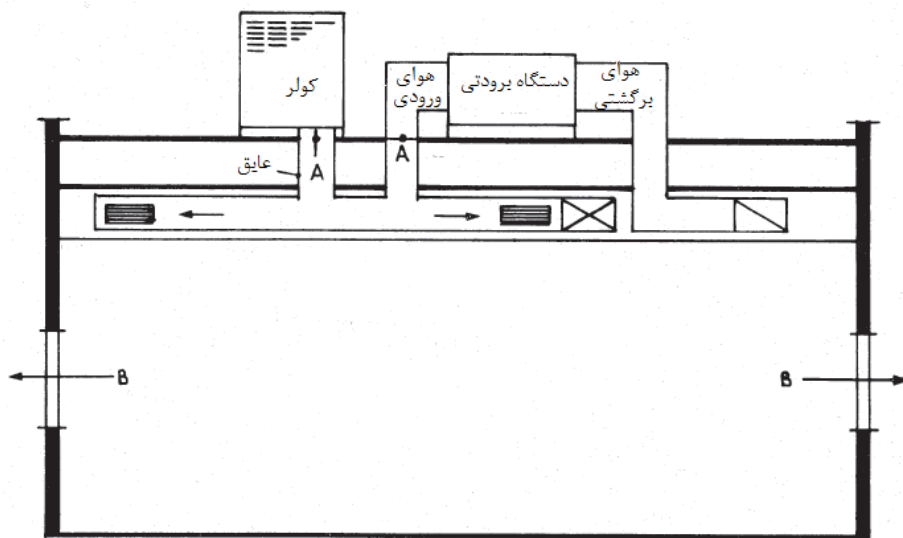
در جایی که ساختمان‌ها دارای مشکلات هوارسانی غیر عادی هستند، الزام سرمایش برودتی برای خنک‌سازی حجم اضافی از هوای تازه بیرون دارای هزینه بالایی بوده و سرمایش تبخیری می‌تواند حتی در طی استفاده کوتاه مدت و گاه به گاه تابستانی نیز مفید باشد. پس اگر به سیستم‌های افزودنی فرصت داده شود تقریباً در همه جا مفید خواهند بود.

ساده‌ترین سیستم‌های افزودنی در تابستان نتایج خوبی به همراه خواهند داشت. این سیستم‌ها اغلب به صورت کولرهای آبی پنجره‌ای بوده که کلاً جدای از تجهیزات برودتی هستند. در اغلب مواقع، آن‌ها اتاق‌های دم دست و نه تمام آن‌ها را خنک می‌کنند. عیب عمده آن‌ها، ظاهر نازیباشان است. بسیاری از دارندگان سیستم‌های تهویه مطبوع مرکزی مایل به افزودن یک کولر با طرح قدیمی در نمای ساختمان نیستند. به نظر به دستگاه‌های جذاب‌تری نیاز است (به شکل ۱ مراجعه کنید).

کولرهای تبخیری که از طریق دمپرهای خودکار به سیستم‌های تهویه مطبوع موجود متصل شده و از کانال کشی آن‌ها استفاده می‌کنند شاید جذاب‌تر و البته گران‌تر باشند. بنابراین، کولرهای آبی در بام یا فضاهای مسقف (دارای سایبان) کنار دیوار نصب شده و به کانال تهویه مطبوع درون سقف کاذب وصل می‌شوند.

مشکلات ناشی از اندازه کانال

ممکن است اتصال سیستم کانال کشی موجود به کولرها باعث ناامیدی شود. کانال‌هایی که برای گرمایش طراحی می‌شوند برای هوای شسته شده بسیار کوچک هستند. آن‌ها برای سرمایش برودتی نیز معمولاً کوچک هستند ولی اگر نسبتاً کوتاه، مستقیم و بدون مانع باشند می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند. گاه، با استفاده از تبدیلات بزرگتر یا تعویض زانویی‌ها و سراهی‌های کوتاه با انواعی که دارای شعاع انحنای بزرگتری هستند، می‌توان آن‌ها را مناسب ساخت.



شکل ۱- طرحواره یک نمونه سیستم سرمایش افزودنی از ترکیب دستگاه‌های تبخیری و برودتی. کولر تبخیری در سمت چپ، از طریق دمپر باز A کانال را تغذیه کرده در حالی که کولر برودتی در وسط، توسط دمپر دیگر A مسدود شده‌است. در حالت سرمایش برودتی وضعیت دمپرها برعکس می‌شود. این دمپرها می‌توانند موتوردار، بارومتري (با فشار هوا باز می‌شوند) یا دستی باشند. پنجره‌های B به صورت دستی باز شده و هوای شسته شده مصرف شده را به بیرون تخلیه می‌کنند. در سیستم‌های مدرن، از پنجره‌های با دریچه بارومتري، یا دریچه‌های سقفی بارومتري که به زیر شیروانی یا سقف کاذب راه دارند، استفاده می‌شود.

در حالت کلی، کولرهای معمولاً به هم متصل شده و از طریق دریچه‌های خودکار یا دمپره‌های موتوردار به کانال متصل می‌شوند. این دریچه‌ها یا دمپرها در هنگام روشن شدن کولر باز شده و اجازه ورود هوای شسته شده به فضای (پلنوم)^۱ مربوط به هوای ورودی یا برگشتی سیستم برودتی و از آن جا به کانال را می‌دهند. در حالت اخیر، دریچه‌های خودکار، انصالات هوای برگشتی را مسدود کرده و دمنده‌های تهویه مطبوع به جریان هوای شسته شده از طریق کانال کمک می‌کنند. متأسفانه نشت از دریچه‌ها و دمپرها موجب اتلاف سرمایش می‌شود.

ظهور ماده واسطه صلبی به نام پد اشباع کننده با مقاومت کم در برابر هوا (به فصل ۱۲ مراجعه کنید) موجب می‌شود که بتوان کولرهای تبخیری را مستقیماً به بسیاری از دستگاه‌های برودتی مرکزی که برای آن طراحی نشده متصل کرد. مدول‌های پد صلب به صورت عادی در بیرون نصب شده و اجازه می‌دهند که هوای شسته شده به فضای (پلنوم) هوای برگشتی وارد شده تا توسط فن‌های موجود

تحويل شوند. البته اگر فن‌ها بزرگ شده یا شتاب بگیرند حجم هوای شسته شده داده شده به اتاق‌ها ناکافی می‌شود.

تغییر در سیستم افزودنی

بدون توجه به سیستم، تغییر از سیستم سرمایش برودتی به تبخیری معمولاً با یک کلید و به صورت دستی انجام می‌شود. عاقلانه به نظر می‌رسد که وقتی در طی سرمایش برودتی درها و پنجره‌ها بسته هستند، لازم شود که در طی یک چرخه تبخیری آن‌ها به صورت دستی باز شوند. در سیستم‌های دقیق، اگروزن‌های خودکار، هوای شسته شده مصرف شده را به بیرون تخلیه کرده یا دریچه‌های سقفی بارومتری خود باز شونده آن را از طریق کانال عمودی به فضای زیر شیروانی انتقال می‌دهند. در هر حال، تغییر خودکار عملی است.

تغییر خودکار شدنی است. "کلید(سوییچ)های انتالپی"^۱ تلفیقی از عملکردهای تنظیم دما و تنظیم رطوبت هستند تا وقتی انتالپی هوای بیرون(محسوس به علاوه نهان) با کاهش رطوبت نسبی افت کرد، سرمایش تبخیری آغاز شده و کمپرسورهای تهویه مطبوع خاموش شده یا در صورت افزایش انتالپی عکس این عمل اتفاق بیافتد. البته استفاده توأم از وسایل تنظیم دما^۲ و تنظیم رطوبت^۳ نیز همین نتیجه را دارد(به شکل ۲ این فصل مراجعه کنید).

از آنجا که امروزه تعداد بیشتری از ساختمان‌ها دارای سیستم سرمایش دوگانه برنامه‌ریزی شده هستند، آن‌ها دارای کانال‌های هوای با اندازه مناسب هستند. به نظر می‌رسد که سرمایش ترکیبی روز به روز بیشتر مورد پسند عموم قرار می‌گیرد.

دستگاه‌های دو پشته^۴

این دستگاه‌ها از طریق تلفیق عملکردهای برودتی و تبخیری در پکیج‌های واحد نصب شونده در پشت بام، موجب بهبود سرمایش دوگانه می‌شوند. این دستگاه‌ها دارای ویژگی کولرهای تبخیری^۱ یا^۲ اسب و کولرهای برودتی هوا خنک فشرده در درون محفظه‌های متصل به هم بوده که مشترکاً کانال زیر خود را تغذیه می‌کنند. وقتی بخش برودتی کار می‌کند، دمپر نوسانی کیپ^۵ مسیر کولر تبخیری را

1- Enthalpy switches

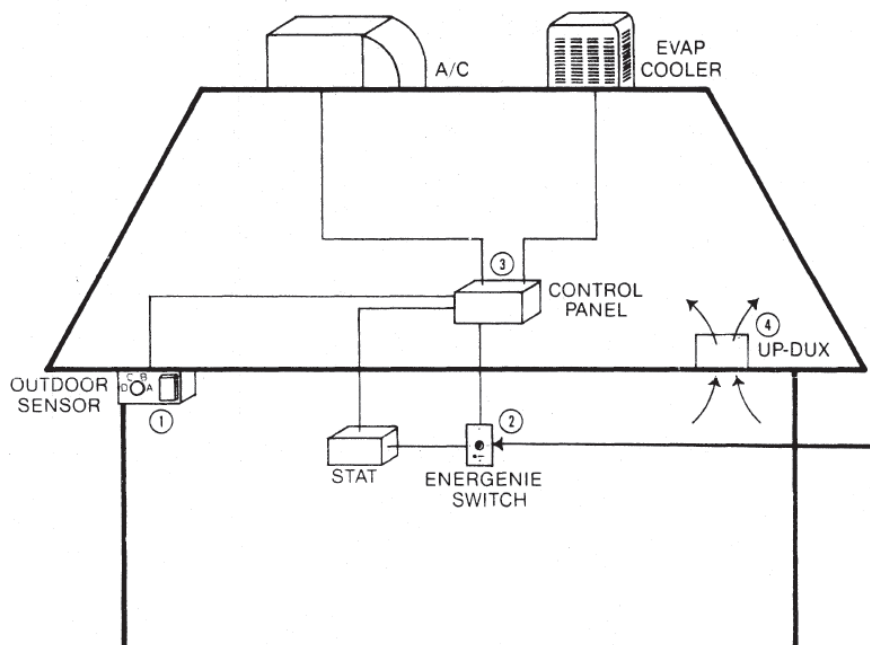
2- Thermostat

3- Hydrostat

4- Piggyback units

5- Tight swinging damper

مسدود می‌کند و برعکس این نیز به صورت متناوب رخ می‌دهد. در طی مرحله تبخیری، کانال‌هایی که هوای برگشتی گرم را از اتاق‌ها باز می‌گردانند نیز بسته می‌شوند.



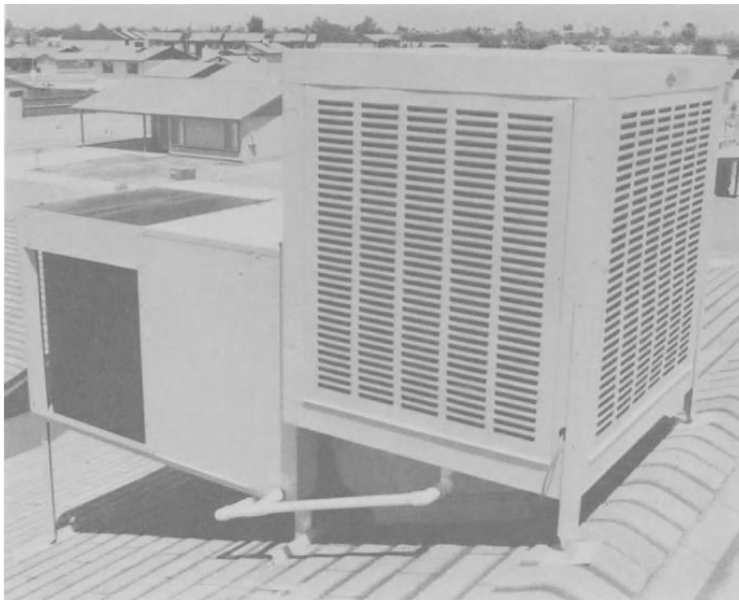
شکل ۲- سوییچ خودکار ساخت شرکت How Con-Serv International موجب تغییر در سیستم سرمایش افزودنی می‌شود. سوییچ حسگر هوای بیرون (۱) در سمت چپ برای دمای مرطوب هوای بیرون تنظیم شده که در دمای پایین‌تر از آن سرمایش تبخیری و در دمای بالاتر از آن سرمایش برودتی کار خواهد کرد. سوییچ (کلید) مرکزی (۲) و ترموستات (STAT) تعیین می‌کنند که در چه سطح آسایشی عمل تغییر صورت خواهد گرفت و تابلوی کنترل (۳) این کار را اجرا می‌کند. نتیجه این کار کسب آسایش نسبتاً یکنواخت است. به منظور صرفه جویی در باز کردن پنجره‌ها در طی سرمایش تبخیری، با باز شدن کانال‌های تخلیه‌ای که با فشار هوا باز شده و در اثر جاذبه (وزن) بسته می‌شوند (۴) به فصل ۱۸ مراجعه کنید.) هوای شسته شده از طریق فضای زیر شیروانی خارج می‌شود.

بسیاری از دستگاه‌های دوپشته، به جای یک سیستم تهویه مطبوع ساده دارای پمپ گرمایی هستند. این امر موجب سه‌گونه سرمایش تابستانی می‌شود: برودتی، تبخیری و هوارسانی (باد رسانی) که به همراه آن ارزان‌ترین نوع گرمایش الکتریکی زمستانی صورت می‌گیرد. این دستگاه‌ها برای مناطقی که دارای لوله‌کشی گاز نیستند مناسب هستند.

دستگاه‌های دوپشته در اندازه‌های مختلفی بوده که در مدل‌های کوچک‌تر آن، از کولرهای آبی استفاده می‌شود. انواع بزرگ‌تر آن نیز دارای کولر با پد افشانه‌ای یا ماده واسط صلب هستند. به دلیل قابلیت

صرفه جویی، استفاده تجاری از این دستگاه‌ها رواج دارد. اما این دستگاه‌ها حجیم بوده و پنهان سازی آن در ساختمان‌های مسکونی دشوار است لذا بسیاری از صاحبان خانه که راضی به استفاده از کولرهای تبخیری نیستند نیز از این دستگاه‌ها رویگردان هستند (به شکل ۳ این فصل مراجعه کنید).

البته، تولید مدل‌های با تخلیه افقی، برای نصب با مزاحمت کمتر، نباید چندان دشوار باشد. برای مثال، یک سازنده عمده کولر آبی، کولرهای کوچک با ماده واسط صلبی ساخته که در فضای زیر شیروانی بسیاری از ساختمان‌های مسکونی قابل پنهان شدن است. این کولرها هوای بیرون را از مجرای هواکش زیر شیروانی دریافت می‌کنند. این دستگاه‌ها باید با استفاده از دمپر به سادگی با کوره‌های گازی افقی، پمپ‌های گرمایی یا دستگاه‌های تهویه مطبوع، که هیچ یک نما ندارند، ترکیب شوند



شکل ۳- یک دستگاه دو پشته با نام تجاری Goettl که بسته به وضعیت آب و هوا، با استفاده از یک کانال، به صورت برودتی یا تبخیری سرمایه‌ش ایجاد می‌کند. در سمت راست یک کولر آبی معمولی با تخلیه فروباد قرار دارد و در سمت چپ نیز یک دستگاه تهویه مطبوع مکانیکی دارای کندانسور هوا-خنک موجود است. وقتی تهویه مطبوع کار می‌کند، یک دمپر نوسانی بزرگ خروجی کولر آبی را مسدود کرده و هوای خشک و خنک را به کانال زیرین خود می‌دهد. وقتی هم که هوا اجازه سرمایه‌ش تبخیری را می‌دهد، دمپر دستگاه مکانیکی را مسدود کرده و هوای شسته شده به کانال دمیده می‌شود. به منظور صرفه جویی بیشتر، در برخی فصول و بعضی شب‌ها از کولر آبی می‌توان به عنوان یک فن هوارسان ساده استفاده کرد.

یک دستگاه خانگی

یک سازنده استرالیایی ترکیب کوچکی از کولر آبی و کوره گازسوز را به صورت نصب دیواری ساخته است. این دستگاه اساساً برای سرمایش و گرمایش مستقیم یک یا دو اتاق متصل استفاده می‌شود و می‌توان از کانال‌های ساده برای انتقال به فواصل دورتر نیز بهره گرفت. در بین فصول می‌توان از آن به منظور هوارسانی استفاده کرد.

بدنه مکعب مستطیلی به صورت عمودی در بیرون و در دیوار خارجی نصب شده و از طریق کانال دیواری از بالا و پایین به داخل ساختمان متصل می‌شود به طوری که هوای شسته شده یا هوای گرم شده از قسمت بالایی وارد شده و بخش پایینی نیز به عنوان محفظه (پلنوم) برگشت برای گرمایش به کار می‌رود. میزان برجستگی بدنه نسبت به دیوار خارجی تنها ۱۸ اینچ (۴۵/۷ cm) است که کاملاً کمتر از پیش‌آمدگی پشت بام است. دودکش ۴ اینچی (۱۰ cm) عمودی کوره، از میان پیش‌آمدگی پشت بام عبور می‌کند (به شکل ۴ این فصل مراجعه کنید).

در نیمه پستی بدنه، کولر آبی قرار دارد که دارای قاب نگهدارنده پد تخت تکی است که هوای شسته شده را به فن‌های فوقانی تحویل می‌دهد. در پایین نیز تشت، شیرهای شناور و پمپ قرار دارد. در نیمه جلویی بدنه نیز کوره عمودی دارای مبدل حرارتی از جنس فولاد زنگ نزن قرار دارد. کنترل کننده‌ها و پیلوت از طریق بخشی از کانال پایینی قابل دسترسی هستند (به شکل ۵ این فصل مراجعه کنید).

میزان جریان هوا از ۴۷۱ cfm ($13/3 \text{ m}^3/\text{min}$) برای حداقل گرمایش، تا ۱۸۲۵ cfm (m^3/min) (۵۱/۷) برای سرمایش متغیر است. حرارت ورودی ۳۳،۱۷۰ Btuh ($33/0 \text{ kJ/hr}$) است. تنظیم دما به صورت دستی است. وقتی این دستگاه‌ها استفاده می‌شوند، دریچه‌های کرکره‌ای قابل تنظیم جهت جریان را کنترل می‌کنند.

برای مدل‌های بزرگ‌تر نیز بازار عرضه می‌تواند ایجاد شود.

دستگاه‌های "هوای جبرانی"

یک سیستم مرتبط دیگر، دستگاه‌های با هوای جبرانی است که سرمایش تبخیری مستقیم تابستانی را با گرمایش هوای گرم زمستانی تلفیق می‌کند. این دستگاه اساساً برای خشک‌شویی‌ها ساخته شده و به صورت روز افزونی برای ساختمان‌های تجاری و صنعتی که معضل آلودگی هوای داخلی را دارند به کار می‌رود.

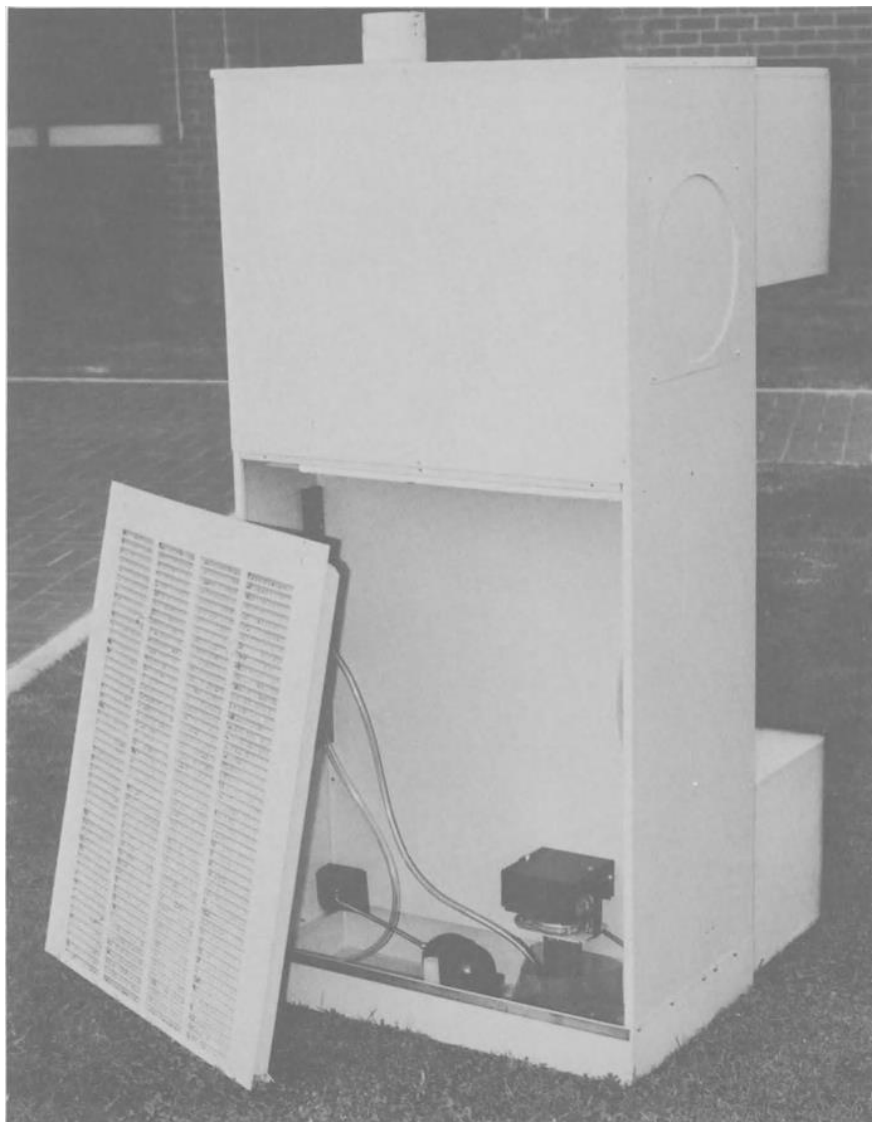
در بسیاری از رختشویخانه‌ها از سرمایش تبخیری برای خنک‌سازی و هوارسانی برای خارج‌سازی بخار ماشین‌های رختشویی و خشک‌کن‌ها استفاده می‌شود. گرما و رطوبت ناشی از ماشین‌های درون رختشویخانه‌ها معمولاً گرمایش زمستانی را تامین می‌کنند.

در خشکشویی‌ها اوضاع متفاوت است. در حالی که آن‌ها به سرمایش تابستانی به انضمام هوارسانی پر حجم برای دفع بخارات غالباً سمی نیاز دارند، آن‌ها از ماشین‌هایی استفاده می‌کنند که گرمای کمتری تولید کرده و در نتیجه در زمستان‌ها به گرمایش مصنوعی به همراه هوارسانی زیاد نیاز دارند. دستگاه‌های هوای جبرانی تبخیری در ابتدا برای مغازه‌های خشکشویی ساخته شدند تا حجم هوادهی بالایی که در طول سال لازم است را به همراه سرمایش تابستانی و گرمایش زمستانی تامین کنند.

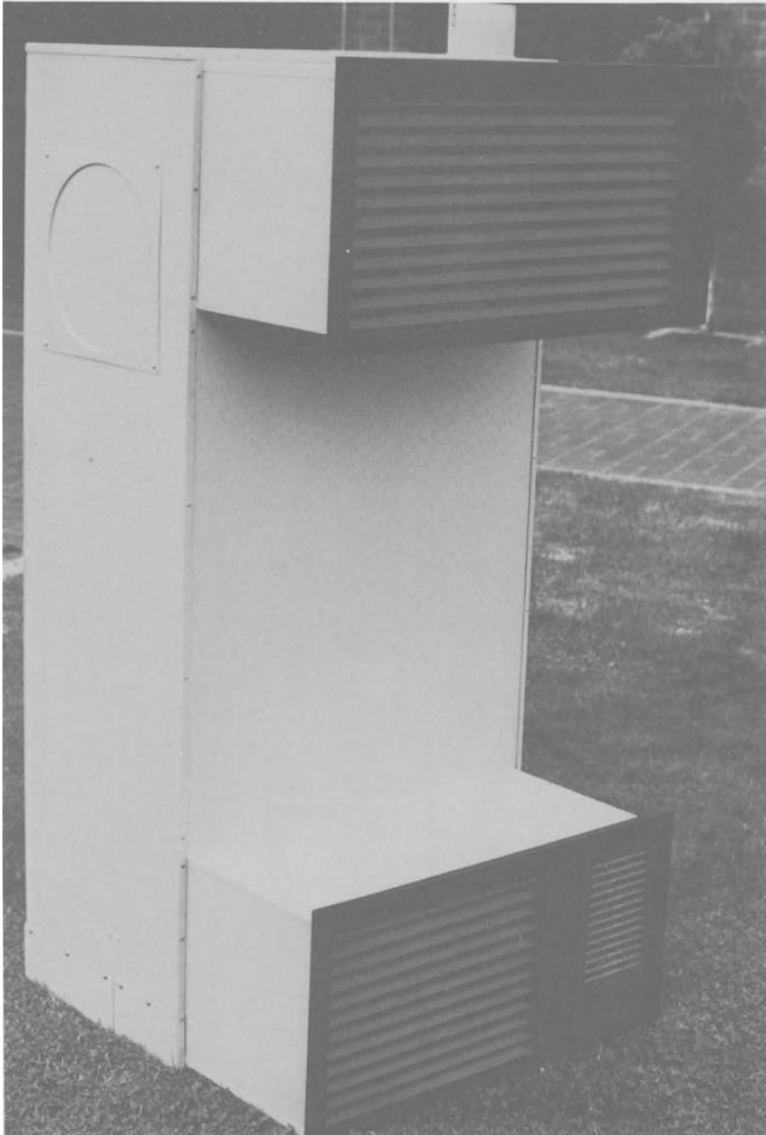
این دستگاه‌ها از نوع کولرهای تبخیری آبی-سقفی، آبی-پرتابی یا دوار هستند که مبدل‌های حرارتی گازسوز به آن‌ها اضافه شده تا جریان هوای تازه پر حجم را برای گرمایش گرم کنند. اغلب این دستگاه‌ها دارای سه تنظیم دستی هستند: سرمایش تبخیری، هوارسانی ساده و گرمایش کنترل شده توسط ترموستات. هوای داخلی برای گرمایش گردش (سیرکوله) نمی‌شود. تمام هوای تازه جبرانی خارجی در سراسر سال استفاده می‌شود (به شکل‌های ۶ و ۷ این فصل مراجعه کنید).

از آنجا که سیالات خشکشویی گران و سمی هستند، بسیاری از خشکشویی‌ها در داخل دستگاه خشکشویی خود دارای کویل‌های بازبایی بخار خنک‌شونده با آبی هستند که به منظور استفاده مجدد و محافظت از کارکنان، بخارات پرکلر اتیلن و مواد نفتی فرآری را چگالیده می‌سازد. در بسیاری از این کویل‌های چگالشی از آب شهری بدون گردش مجدد یا آب برج خنک‌کن استفاده می‌شود. این امر موجب می‌شود که آب بهای مصرفی یا هزینه کارکرد برج خنک‌کن و پمپ‌ها بالا برود.

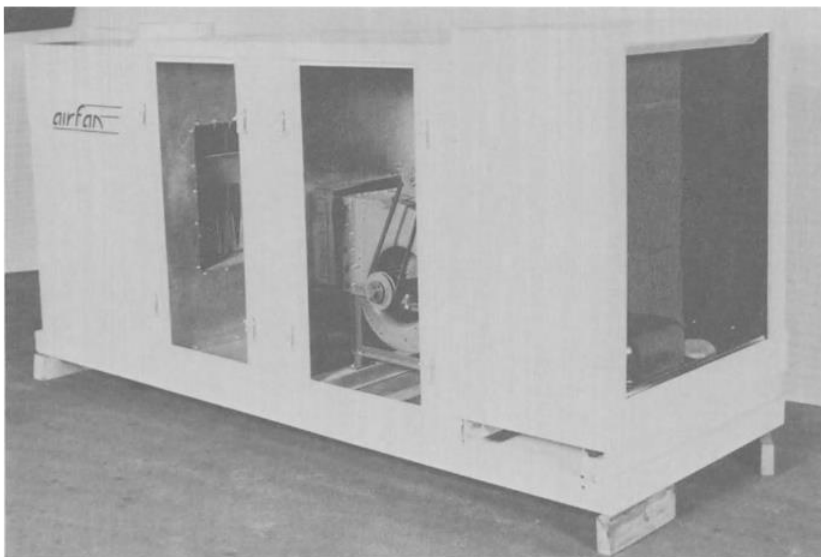
در برخی خشکشویی‌ها، به جای برج خنک‌کن، از کولرهای تبخیری استفاده می‌شود. در این حالت آب از تشت کولر، از میان واحد بازبایی، پمپ شده و برمی‌گردد و کولر آن را در هر چرخه تا نزدیک دمای مرطوب خنک می‌کند. در تابستان، آب این کولرها اغلب سردتر از آب شهری است در نتیجه قادر به چگالش بخار بیشتری است. در نتیجه عملکرد کولر اندکی کاهش یافته، آب بیشتری در مقایسه با حالت عادی تبخیر شده، ولی سرمایش و هوارسانی در حد مناسب باقی می‌ماند.



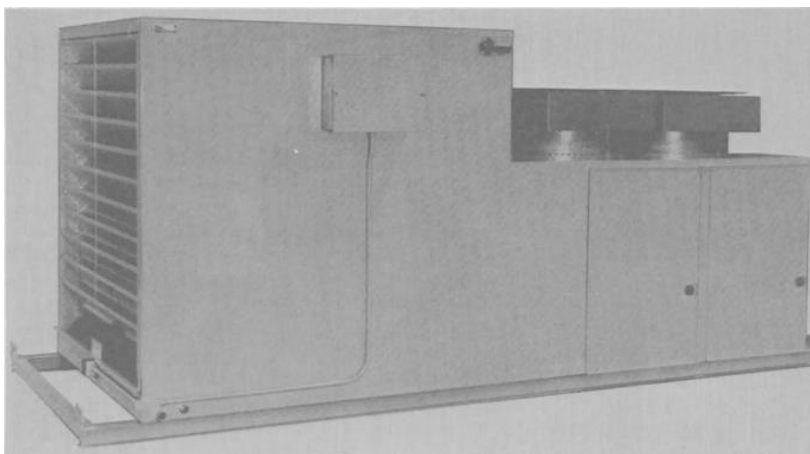
شکل ۴- یک کولر آبی و کوره گاز ترکیبی کوچک دیواری با نام تجاری Bonarie. در نمای پشت یک کولر آبی با پمپ، شیر شناور و لوله سرریز آب مشاهده می‌شود. در پشت آن یک گرمکن کوچک قرار دارد. در بالا نیز دو دمنده موجود است. کانال‌های بالا و پایین در سمت راست تصویر و دودکش کوره در بالای آن قابل مشاهده است.



شکل ۵- نمای جلوی کولر آبی و کوره گاز ترکیبی کوچک دیواری با نام تجاری Bonarie. کانال بالا و دریچه مربوط در تابستان، هوای شسته شده و در زمستان هوای گرم را تحویل می‌دهد. سمت چپ دریچه پایین، در تابستان بسته شده ولی در زمستان هوای برگشتی را وارد می‌کند. کنترل‌ها، که قابل مشاهده نیستند، در نیمه سمت راست قرار دارند.



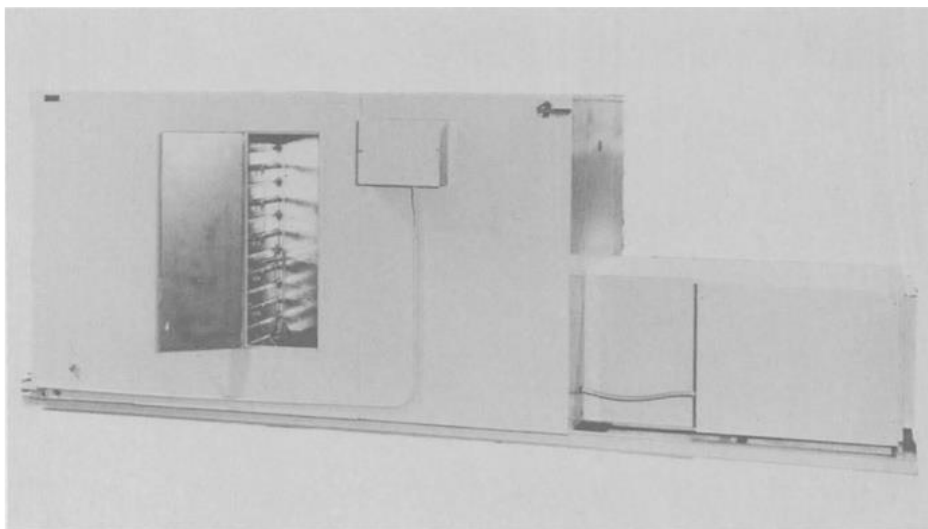
شکل ۶- یک دستگاه آبی-پرتابی با هوای جبرانی با نام تجاری Airfan. بخش پرتابی از سمت راست اجازه ورودی هوای تازه بیرونی را داده و آن را خنک می‌کند. دمنده مرکزی این هوا را از بخش گرمکن گازسوز در سمت چپ عبور می‌دهد. در حالت سرمایش دستگاه، گاز قطع است. در حالت گرمایش نیز کولر آبی-پرتابی خاموش است. این دستگاه‌ها در تمام فصول هوادهی خوبی را به مکان‌هایی مثل خشکشویی‌ها، چاپخانه‌ها، جوشکاری‌ها، واحدهای شیمیایی و موارد مشابه دارند.



شکل ۷- یک دستگاه آبی-پرتابی با هوای جبرانی با نام تجاری Alton. کولر در سمت چپ و گرمکن دو قلو در سمت راست قرار داشته و توسط یک دمنده با تخلیه فروباد که هوا را از طرفین دریافت می‌کند از هم جدا شده‌اند. معمولاً این کولرهای پشت بامی برای گرمایش و سرمایش مکان‌هایی به کار می‌روند که در فصول زمستان و تابستان به هوادهی زیادی نیاز دارند مثل خشکشویی‌ها، کارگاه‌های نقاشی، آبکاری‌ها، جوشکاری‌ها، نساجی‌ها و واحدهای شیمیایی.

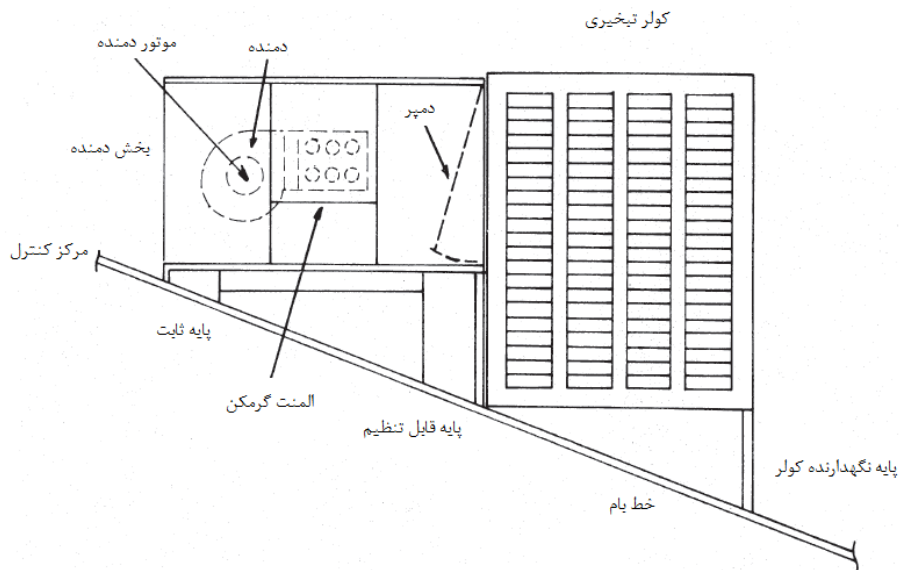
خشکشویی‌های سکه‌ای عادی فاقد کویل‌های بازبایی بوده، در نتیجه آن‌ها، به منظور هوارسانی ایمن، وابستگی مضاعفی به دستگاه‌های هوای جبرانی دارند.

در حال حاضر در صنایع دیگری نیز از دستگاه‌های تبخیری با هوای جبرانی استفاده می‌شود. تقریباً تمام آن‌ها دارای معضلاتی مثل دود، غبار، بخار یا کرک زیاد هستند مثل گاراژها، کارگاه‌های نقاشی، چاپخانه‌ها، جوشکاری‌ها، آشپزخانه‌های صنعتی، آزمایشگاه‌های شیمی، بخش‌های چوب سابی، واحدهای نساجی، ریخته‌گری‌ها، رختکن‌های ورزشگاه و سالن‌های سخنرانی. در موارد مسکونی از آن کمتر استفاده می‌شود زیرا در زمستان نیاز کمی به هوای تازه داشته و هزینه سوخت آن بالا است (به شکل ۸ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۸- یک دستگاه ترکیبی آبی-پرتابی با هوای جبرانی با نام تجاری Alton که بین بخش‌های سرمایش و گرمایش، دارای یک دمپر موتوردار است. دمپر مشابهی نیز مطابق با دمپر قبلی بین هیتر (گرمکن) و فن به صورت متناوب باز و بسته می‌شود تا تعویض از گرمایش به سرمایش به سهولت انجام شود. برخی دستگاه‌های با هوای جبرانی از گرمایش توسط پمپ حرارتی و برخی از سرمایش با کولر دوار بهره می‌گیرند.

یکی از سازندگان، دستگاه پشت بامی هوای جبرانی را ساخته که در هنگامی استفاده می‌شود که به گاز طبیعی دسترسی نداشته و گرمایش به صورت الکتریکی انجام می‌شود. این دستگاه‌ها دارای دمنده‌های مجزایی بوده که هوای بیرونی را از میان کویل‌های برقی وارد کانال ساختمان می‌کنند. در هنگام سرمایش یا هوارسانی، دمپرهای نوسانی هوا را از کولرهای تبخیری دریافت کرده و در حالی که دمنده‌های بخش گرمکن بسته هستند، این هوا را به کانال فروداد مشابهی می‌دهند (به شکل ۹ این فصل مراجعه کنید).



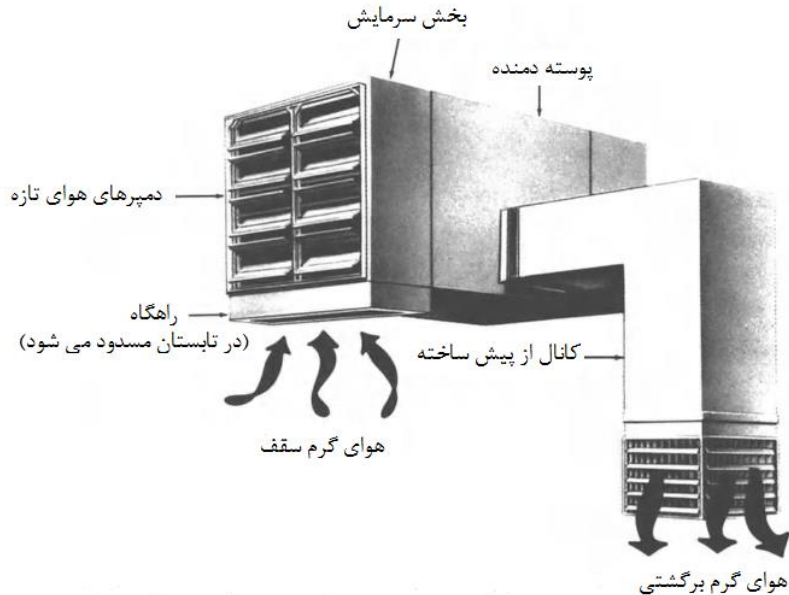
شکل ۹- یک دستگاه با هوای جبرانی و دارای گرمایش برقی (مقاومت الکتریکی) و کولر آبی با نام تجاری Goettl. در سمت راست یک کولر آبی معمولی با خروجی از دیواره جانبی قرار دارد که در دهانه خروجی آن یک دمپر نوسانی باز شونده در اثر فشار قرار دارد که در حالت عادی بسته است. در سمت چپ یک دمنده گرمایشی قرار دارد که موتور مستقیماً بدان وصل است. وقتی دمنده کار می‌کند، این دمنده هوا را از میان المنت مقاومت الکتریکی به پایین و به سمت کانال‌های تغذیه ساختمان می‌دمد. وقتی کولر آبی کار می‌کند، دمپر نوسانی باز شده، بخش گرمایشی مجزا شده و هوای شسته شده به کانال زیرین خود جریان می‌یابد. برای صرفه‌جویی بیشتر در زمستان و آسایش بیشتر در تابستان، دستگاه‌های هوای جبرانی به همراه پمپ حرارتی موجود هستند. این دستگاه‌ها گرمای پمپ حرارتی را داده و همزمان در تابستان سرمایش-های تبخیری و برودتی را ارائه می‌دهند.

روش گردش گرما

یک ترکیب دیگر از گرمایش و سرمایش تبخیری شایان ذکر است. در یک واحد صنعتی با سقفی به ارتفاع ۲۵ فوت (۷/۶ m) از هیترهای بالاسری در زمستان استفاده شد که منجر به لایه‌بندی بدی برای دمای هوا شد، به طوری که کف و محل کار افراد یخ کرده ولی، در مجاور سقف، هوای ما فوق گرم محبوس مانده بود.

سرمایش تابستانی نیز به صورت کولرهای تبخیری پشت بامی با رانش فروباد به درون کانال‌های افقی بود که دارای دیفیوزرهایی در فاصله ۸ فوتی از کف بود. به منظور توزیع مجدد هوای داغ در زمستان، توسط دیواره‌های عایق خمیده شده، در اطراف کولرهای تبخیری، یک محفظه جعبه مانند ساخته شد. برای تغذیه هوای داغ به کولرها، مجاری هوایی در سقف تعبیه شد.

بدین ترتیب اینک این کولرها، با پدهای خشک، هوای داغ صعود کرده را از طریق کانال و دیفیوزرهای قدیمی به سطح کاری پایین می‌دمند. در تابستان نیز دیواره‌ها جمع شده و هوای بیرون اجازه می‌یابد که مجدداً به کولرها وارد شده و مجاری هوا نیز برای جلوگیری از نفوذ باران مسدود می‌شوند.



شکل ۱۰- یک واحد سرمایش تغییر یافته برای گردش هوای داغ زیر سقف در زمستان با نام تجاری Bessam-Aire. بخش دمنده مرکزی دارای یک بخش سرمایش آبی-پرتابی در هر طرف خود بوده که هر دو دارای دمپره‌های موتوردار خارجی هستند تا میزان هوای ورودی از بیرون را در زمستان محدود کند. به سمت چپ توجه کنید که راهگاه سقفی برای هوای گرم زیر سقف تعبیه شده و دمپره‌های نیمه بازی نیز برای هوای تازه در بالای آن قرار دارند. در نتیجه، بسته به آب و هوا و نیاز به هوای جبرانی، مخلوط مناسبی در سطحی که کارکنان استقرار دارند گردش یافته و مانع از لایه‌بندی هواهای با دمای مختلف در زمستان و در نتیجه صرفه جویی در مصرف سوخت می‌شود.

این طرح را شاید بتوان برای روزهای خشک زمستانی بهبود بخشید. پمپ‌های کوچکی که توسط دستگاه تنظیم رطوبت کنترل می‌شوند می‌توانند یک پد از هر کولر را خیس کنند. این رطوبت احیا شده هوای داخلی می‌تواند موجب کاهش هزینه سوخت شود (به شکل ۱۰ این فصل مراجعه کنید).

آینده

توسعه رو به رشد کولرهای کوچک با ماده واسط صلب، همراه با فشرده‌گی، ضریب تاثیر سرمایش بالا و هزینه‌های نگهداری پایین موجب پیش‌بینی افزایش استفاده از دستگاه‌های افزودنی، دو پشته و با هوای جبرانی می‌شود.

پرسش‌های دوره‌ای

۱. وقتی هوا مطلوب است، دو راه که کولرهای تبخیری افزودنی موجب صرفه جویی در مصرف انرژی سرمایش می‌شوند را ذکر کنید.
۲. چرا سیستم‌های افزودنی در ساختمان‌های با رطوبت بالا یا ساختمان‌های دارای معضل هوارسانی صرفه بیشتری را دارند؟
۳. شرح دهید که چرا کولرهای افزودنی در خارج از قلمرو مناسب برای سرمایش تبخیری سنتی مفید هستند؟
۴. در اغلب تاسیسات افزودنی از دو فن، یکی برای کولر [تبخیری] و یکی برای بخش برودتی، استفاده می‌شود. شرح دهید که چرا در صورت استفاده از پدهای صلب در سیستم افزودنی، فن دوم (مربوط به بخش برودتی) اغلب کافی است.
۵. تفاوت سیستم‌های افزودنی و دو پشته را شرح دهید. کدام یک در کارخانه و کدام یک اغلب به صورت سرهم بندی ساخته می‌شود؟
۶. چرا در سیستم‌های افزودنی و دو پشته اندازه کانال حیاتی است؟
۷. دستگاه پکیج سرمایش و گرمایش ترکیبی استرالیایی را شرح دهید.
۸. تفاوت بین احتیاجات گرمایشی و سرمایشی برای رختشویخانه‌های تجاری و خشکشویی‌ها را بیان کنید. در کدام یک به دستگاه تبخیری با هوای جبرانی نیاز است؟ چرا؟
۹. یک راه متفاوت برای استفاده از کولرهای تبخیری برای گردش هوای لایه‌بندی شده داغ در واحدهای صنعتی در زمستان را شرح دهید.

فصل ۱۱

کولرهای تبخیری هواساز

اغلب سیستم‌های سرمایش تبخیری، شامل آبی، پرتابی، با پد دوار و انواع غیر مستقیم، بین سال‌های ۱۹۲۴ تا ۱۹۴۰ در جنوب غربی آمریکا ارائه شده که صرفاً به منظور سرمایش طراحی شده‌اند.

دو نوع دیگر نیز در بین سال‌های ۱۸۹۹ و ۱۹۳۶ در شمال و شرق آمریکا ابداع شدند. آن‌ها بیشتر برای کنترل رطوبت و تمیزسازی هوا در صنایع نساجی، چاپخانه‌ها و کارخانجات بزرگ بودند تا سرمایش. این دستگاه‌ها هواسازهای تجاری و هواسازهای نوع سلولی هستند. هواسازهای تجاری، که بهتر از نوع غربی خود هستند (به فصل ۲ مراجعه کنید). برای بهبود کیفیت هوا ساخته شدند. با توجه به امکان کنترل دمای آب، آن‌ها قادر به گرمایش، سرمایش، رطوبت‌زدایی و همچنین رطوبت‌زنی و فیلتر کردن هستند.

در اوایل از هواسازها در کلیساها، سالن‌های سخنرانی، تئاترها و غیره استفاده می‌شد زیرا در روزهای گرم و مرطوب می‌شد یک تن یخ را در هواساز جا داد تا آب آن برای چند ساعت هوا را خنک کند. مولف این کتاب کلیسایی را به خاطر می‌آورد که برای یخ روزهای یکشنبه، دری را در کوچه تعبیه کرده بود.

برای سرمایش تبخیری از تعدادی هواساز استفاده می‌شود که در زیر مورد بررسی قرار می‌گیرند.

هواسازهای تجاری

از هواسازهای تجاری کمتر در ساختمان‌های مسکونی یا کوچک استفاده می‌شود. از آنجا که آن‌ها برای کنترل دقیق رطوبت داخل و تمیزسازی هوای داخل بسیار کارآمد هستند از آن‌ها در سیستم‌های تهویه مطبوع بزرگی که هوا را گردش می‌دهند استفاده می‌گردد. البته با افزایش رقابت، هواسازها عقب ماندند. امروزه قیمت، اندازه، وزن، سر و صدا، مصرف انرژی و هزینه‌های نگهداری موجب شده که از آن‌ها به جای تاسیسات تهویه مطبوع در جاهای خاص استفاده شود.

این دستگاه‌ها نه تنها گرد و خاک، دوده، کرک، الیاف و بسیاری از ذرات جامد را ضمن سرمایش گرمایش می‌زدایند بلکه غبارات رنگ و اغلب بخارات غیر چرب و دود را نیز رفع می‌کنند در نتیجه از آن‌ها در بسیاری از بیمارستان‌ها، کارخانجات، ریخته‌گری‌ها، نساجی‌ها و بافندگی‌ها، نانوایی‌ها، آسیاب‌های تولید آرد، واحدهای صنایع شیمیایی، لاستیک، نمد(موکت)، کاغذ، شیشه، نیروگاه‌ها و آزمایشگاه‌ها استفاده می‌شود.

ساختار

هواسازهای تجاری محفظه‌های افشانه بسته و اتاق ماندنی هستند که در آن‌ها هوای ورودی آماده سازی می‌شود. عموماً آن‌ها بدون فن بوده ولی به سیستم‌های دارای دمنده‌های گریز از مرکز بزرگ یا فن‌های محوری متصل می‌شوند.

کف آن‌ها دارای مخازن بزرگ و کم عمق آب یا تشتی هستند که اغلب شیب‌دار بوده تا موجب تسهیل تخلیه آب و خروج لجن بشود. آن‌ها معمولاً از فولاد گالوانیزه به ضخامت $\frac{1}{16}$ تا $\frac{3}{16}$ اینچ (۲/۵۴ تا ۳/۱۷۶) ساخته شده و مخزن آن‌ها دارای روکش مقاوم در برابر خوردگی است. در هواسازهایی که از افشانه مواد شیمیایی یا آب نمک برای سرمایش، گندزدایی یا رطوبت‌زدایی استفاده می‌شود مخزن می‌تواند از فولاد زنگ نزن، فلز monel، بتون یا جنس‌های دیگر باشد.

دیواره‌ها و سقف معمولاً از مواد مشابه ساخته شده و ممکن است جهت شرایط خاص داخل یا خارج عایق شوند. گاه دیواره‌ها و سقف به صورت پیش ساخته هستند. درهای دسترسی کیپ و چراغ‌های برقی استخری ضد آب اجازه بازرسی داخلی و سرویس را داده و از دریچه‌های شیشه‌ای نیز می‌توان استفاده کرد.

معمولاً هوا از طریق کانال‌های بزرگ به صورت طولی از یک طرف وارد شده و از میان مجموعه‌ای از تیغه‌های افشانه‌گیری^۱ عبور می‌کند که از بالا به پایین امتداد دارند. "صفحات دیفیوزر ورودی" موجب سرعت یکنواخت هوای ورودی در تمام سطح مقطع هواساز شده و از فرار افشانه‌های داخلی جلوگیری می‌کند. در پایین دست جریان هواساز، صفحات "قطره‌گیر"^۲ یا "پره‌ها"^۳ موجب جلوگیری از اتلاف افشانه با هوای خروجی می‌شود.

این‌ها تیغه‌های فلزی عمودی هستند که به صورت V، A، W یا دیگر مقاطع بوده که با هم فاصله داشته در نتیجه هوای عبوری از میان آن‌ها سریعاً چهار تا شش بار تغییر جهت داده ولی آب ورودی در اثر اندازه حرکت خود به تیغه‌ها برخورد کرده و به پایین فرو می‌ریزد. گاه سطوح مسطح این صفحات به صورت قلاب بوده و ناودانی‌های عمودی کوچکی ایجاد می‌کنند که قطراتی که به صورت جانبی به سمت آن‌ها حرکت می‌کنند را به دام می‌اندازند.

برای حداقل‌سازی مقاومت جریان هوا، گاه سطوح مسطح بیش از ۳۰ درجه از جهت جریان منحرف می‌شوند. این پره‌های قطره‌گیر به صورت میانگین ۱۰ تا ۱۳ اینچ (۲۵/۴ تا ۳۳/۰۲ cm) عرض داشته و یک اینچ (۲/۵۴ cm) از هم فاصله داشته و معمولاً از فولاد زنگ نزن ساخته می‌شوند، هر چند از پلاستیک یا دیگر فلزات نیز استفاده می‌شود.

وقتی هوا حاوی گرد و خاک، کرک، یا سایر ذرات جامد است، سطوح جلویی پره‌ها می‌توانند به عنوان "صفحات پاک‌کننده‌ای"^۴ عمل کنند که دارای لایه‌های نازکی از آبی هستند که به پایین آن‌ها جریان داشته و توسط شیپورهایی در بالای آن‌ها به صورت جریان سیلابی تامین می‌شود. این صفحات پاک‌کننده عمودی اغلب در جلوی قطره‌گیرها نیز نصب می‌شوند. این سطوح، تحت جریان سیلابی تقریباً تمام ذرات جامد دریافتی را به داخل تشت شسته که شامل ذرات چسبناک و چرب نیز می‌شود (به شکل ۱ این فصل مراجعه کنید).

از آنجا که صفحات پاک‌کننده یا قطره‌گیرها معمولاً نازک‌تر از تشت یا بدنه هستند در صورت خوردگی یا رسوب گرفتگی به راحتی تعویض می‌شوند. چیدمان‌های خاصی از این صفحات یا قطره‌گیرها موجب جلوگیری از تجمع لجن در زیر آن‌ها یا نشستی هوا از اطراف آن‌ها می‌شود.

1- Spray-trapping baffles
 2- Eliminator
 3- Blades
 4- Scrubber plates

کویل‌های گرمایشی-سرمایشی

در داخل بسیاری از هواسازها، لوله‌های لخت عرضی به صورت شبکه وجود دارد که به صورت مارپیچ از یک دیوار تا دیوار دیگر خم شده‌اند. از آنجا که آن‌ها در معرض افشانه سنگینی هستند، نه تنها یک لایه مایع را در برابر هوای متقاطع تشکیل می‌دهند بلکه به منظور کنترل فرآیند می‌توانند موجب دادن یا گرفتن گرما بشوند. این لوله‌ها بر حسب لزوم ناقل آب، بخار، سیال مبرد هستند.

این کویل‌های در معرض افشانه در سیستم‌های بزرگ گرمایش و تهویه مطبوع رایج هستند. افشانه موجب تمیزی کویل شده و بازده انتقال حرارت آن‌ها را به صورت قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. با استفاده از سیال مبرد، لوله و افشانه سرد شده موجب رطوبت‌زدایی و سرمایش می‌شود. با کویل‌های گرمایشی عکس این عمل اتفاق می‌افتد.

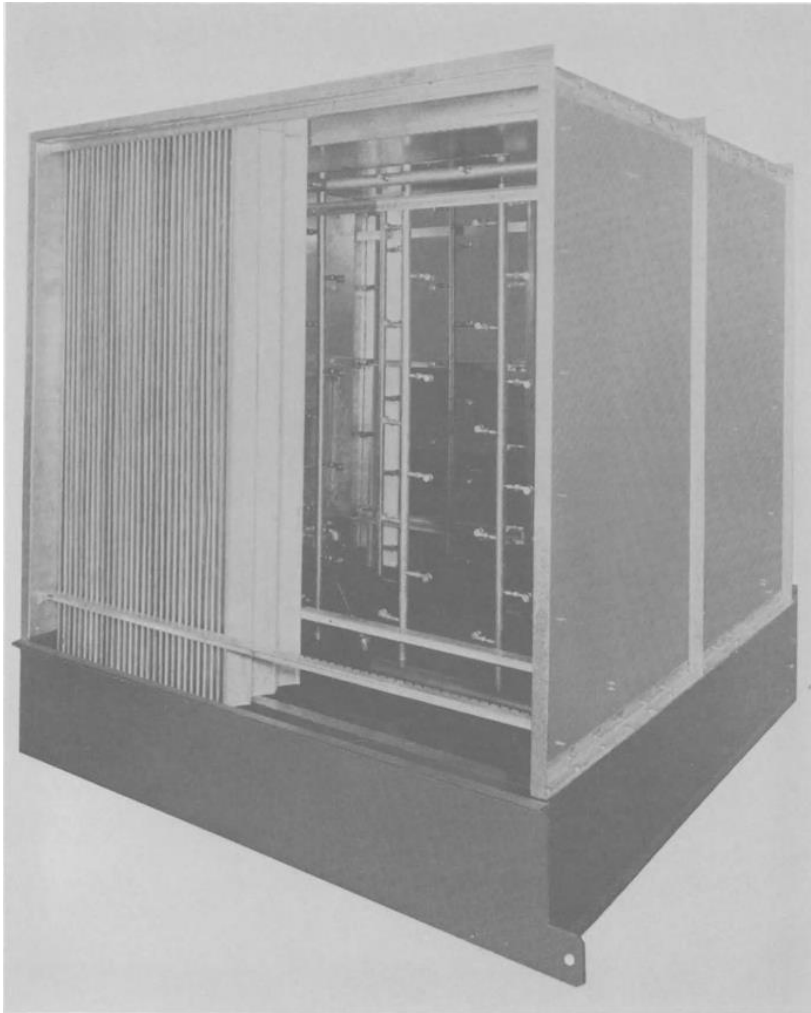
در برخی هواسازهایی که با هوای نسبتاً تمیز و عاری از کرک سر و کار دارند، کویل‌ها می‌توانند دارای پره‌هایی جهت افزایش سطح انتقال حرارت باشند. در برخی طرح‌ها هیچ کویل لوله‌ای وجود نداشته و گرمایش و سرمایش آب درون تشت مستقیماً در مبدل‌های حرارتی صورت می‌گیرد.

جریان هوا

دو دسته عمومی هواساز وجود دارد: کم سرعت و پر سرعت. در حالت اول، هوا معمولاً در سرعت ۳۰۰ تا ۷۰۰ fpm (۱/۵ تا ۳/۶ m/s) حرکت می‌کند که مقدار رایج ۵۰۰ fpm (۲/۵ m/s) بوده و به صورت یکنواخت در عرض کل سطح مقطع یا "رخ‌وجه" توزیع می‌شود. سرعت‌های بالاتر موجب فرار قطرات ریز از قطره‌گیرها شده و همچنین بازده اشباع کاهش می‌یابد. در نتیجه هواسازهای به طول ۸ فوت (۲/۴۴ m) با دو ردیف افشانه مقابل هم در سرعت ۴۵۰ fpm (۲/۳ m/s) قادر به ایجاد درجه اشباع ۹۳ درصد هستند اما در سرعت ۶۵۰ fpm (۳/۳ m/s) به دلیل زمان تماس کوتاه‌تر آب و هوا این درجه اشباع به ۸۵ درصد می‌رسد.

چیدمان افشانه

به منظور ایجاد یک صفحه یکپارچه از افشانه در عرض مسیر هوا، ردیف شیپوره‌هایی قرار دارند که موجب تقویت تماس دینامیک با قطرات می‌شود. در صورت لزوم، تا شش ردیف متوالی نیز استفاده می‌شود ولی تعداد رایج یک یا دو ردیف است.



شکل ۱- یک هواساز تجاری با نام تجاری Buffalo Forge با نمای از سمت هوای خروجی. این دستگاه شامل یک پایه فلزی سنگین، یک استخر آب کم عمق، و دیواره جانبی و فوقانی است. در انتهای آن کرکره‌های عمودی چین دار خاصی به نام "پره"، به صورت فشرده قرار دارند که در سمت چپ دیده می‌شود. آن‌ها اجازه می‌دهند که هوا به سهولت عبور کرده ولی جهت آن را به صورت ناگهانی چند بار تغییر می‌دهند که در نتیجه قطرات هوا برد به سمت استخر سرازیر می‌شوند. بدین ترتیب تنها اندکی از افشانه از بین پره‌ها فرار می‌کند. هوا به انتهای دورتر وارد شده و از میان محفظه افشانه به پیش می‌رود. در آنجا، دو یا چند ردیف از شیپوره‌های نصب شده بر لوله، که هم رو به و هم در خلاف جریان هوا هستند آن را تمیز و مرطوب می‌کنند. جهت تاثیر نهایی، شیپوره‌های فوقانی جلوی کرکره‌های خروجی یا قطره‌گیرها را غرق آب می‌کنند تا باقیمانده گرد و غبار به پایین شسته شود. یک درب دسترسی و چراغ‌های داخلی اجازه تخلیه دوره‌ای لجن را می‌دهند.

شیپوره‌ها، که با آب ۱۵ تا ۳۵ psi (۱/۰۵ تا ۲/۴۶ kg/cm²) (به طور میانگین ۲۵ psi) تغذیه می‌شوند مخروط‌های روی همی از آب پودر شده را ایجاد می‌کنند که فاصله و اندازه آن‌ها برای شستن هر فوت مربع از جریان هوای ورودی از ۱ تا ۷/۵ gpm (۳/۷۹ تا ۲۸/۳۹ l/min) به ازای هر ردیف است. اغلب ردیف‌های تکی به ازای هر ۱۰۰۰ cfm جریان هوا ۴ گالن آب (۰/۵۳۵ لیتر به ازای هر m³/min) می‌پاشند. این فشار پاشش موجب پخش ذرات آب شده و در نتیجه هوای قابل ملاحظه‌ای که از مخروط‌های افشانه خارج می‌شوند را مرطوب می‌سازد. بدین ترتیب، ضریب تاثیر هواساز تا حدودی با طول دنباله افشانه در قبل از جذب آن توسط قطره‌گیر تغییر می‌کند.

تعداد ردیف مورد استفاده، با میزان ضریب تاثیر اشباع رابطه دارد. معمولاً هر ردیف به اندازه ۲/۵ تا ۴/۵ فوت (۰/۷۶ تا ۱/۳۷ متر) با ردیف دیگر فاصله داشته و تعداد آن نیز بر روی طول هواساز و بازده آن تاثیر دارد. در کنار افزایش ضریب تاثیر طی پاشش عادی، آخرین ردیف نیز می‌تواند با خیس کردن سطوح قطره‌گیر و بدون استفاده از شیپوره غرقابی همین کار را انجام دهد. معمولاً دو ردیف می‌توانند به ازای هر ۱۰۰۰ cfm جریان هوا تا ۱۰ گالن آب (۱/۳۴ لیتر به ازای هر m³/min) بپاشند.

چیدمان‌های زیادی امکان‌پذیر است. معمولاً یک ردیف افشانه می‌تواند تا حدی هوا را رطوبت دهی و تمیز کند و جهت شیپوره و طول افشانه به همراه جریان آب و هوا تعیین کننده عملکرد دقیق هستند. هواسازهای با افشانه دو ردیفه، معمولاً رطوبت زنی یا رطوبت زدایی متوسطی را انجام می‌دهند. هواسازهای با افشانه سه ردیفه، به خصوص وقتی دمای آب بیش از حد پایین است، معمولاً رطوبت زنی یا رطوبت زدایی زیادی را انجام می‌دهند. در چنین حالاتی اغلب از هواسازهای با افشانه دو ردیفه به صورت سری استفاده کرده و گردش آب بر خلاف جریان هوا است.

به منظور کسب حداکثر اثر رطوبت زنی، شیپوره‌ها با فاصله ۱۲ تا ۱۸ اینچ (۳۰/۴۸ تا ۴۵/۷۲ cm) از قطره‌گیرهای ورودی آب را بر خلاف جریان هوای ورودی می‌پاشند. ضریب تاثیر به ازای هر گالن (لیتر) افشانه بالا بوده و تا حدودی با فاصله بین آخرین ردیف شیپوره و قطره‌گیرهای خروجی (که معمولاً ۱۲ تا ۲۴ اینچ (۳۰/۴۸ تا ۶۰/۹۶ cm) افزایش می‌یابد. متأسفانه، پاشش به پایین دست جریان به میزان زیادی مانع از جریان هوا می‌شود در نتیجه معمولاً شیپوره‌هایی که رو به پایین دست جریان دارند ترجیح داشته ولی طول هواساز بیشتر می‌شود.

شیپوره‌ها

شیپوره‌های کوچک گریز از مرکزی که هریک ۰/۵۵ gpm (۲/۰۸ l/min) افشانه ریز تولید می‌کند در عمل بالاترین بازده اشباع را دارند. به ازای هر فوت مربع مساحت رخ هواساز، اغلب در هر ردیف ۲ تا ۵ شیپوره (۲۲ تا ۵۴ در هر متر مربع) قرار می‌گیرد که به ازای هر فوت مربع از جریان هوای ورودی

۱ تا ۳ gpm (۴۰/۷) تا ۱۲۲/۱ l/min به ازای هر متر مربع) خروجی دارند. چگالی بالاتر برای افشانه در هر ردیف تاثیر اندکی داشته در حالی که شیپوره‌های ریزتر به سادگی دچار گرفتگی شده و افشانه سبکی تولید می‌کنند. در اغلب کاربردها از شیپوره‌های با ۱/۱ gpm (۴/۱۶ l/min) که به سادگی دچار گرفتگی نمی‌شوند استفاده شده و به ازای هر ردیف از هر فوت مربع، ۱/۵ تا ۴ gpm (۶۱/۱) تا ۱/۶۲/۹ l/min به ازای هر متر مربع) را می‌پاشند.

به منظور سرمایش و رطوبت زدایی، استفاده از شیپوره‌هایی رایج است که افشانه درشت دانه‌تری را تولید می‌کنند که میزان آن ۲/۳۵ gpm (۸/۹۰ l/min) است که می‌توانند به ازای هر ردیف از هر فوت مربع، ۲ تا ۷/۵ gpm (۸۱/۵) تا ۳۰۵/۵ l/min به ازای هر متر مربع) ایجاد کنند (مقدار ۵ gpm در هر فوت مربع) (۲۰۳/۷ l/min) به ازای هر متر مربع) رایج است. در هواسازهای چند ردیفه، مقدار ۱۰ gpm به ازای هر فوت مربع (۴۰۷/۳ l/min) به ازای هر متر مربع) ضریب تاثیر نزدیک به حداکثر را ارائه می‌دهد ولی اغلب از مقدار ۱۵ gpm به ازای هر فوت مربع (۶۱۱/۱ l/min) به ازای هر متر مربع) استفاده می‌شود. حد نهایت ضریب تاثیر در ۱۸ تا ۲۰ gpm به ازای هر ۱۰۰۰ cfm (۲/۴) تا ۲/۷ لیتر به ازای هر (m³/min) هوا حاصل می‌شود.

سایر ویژگی‌ها

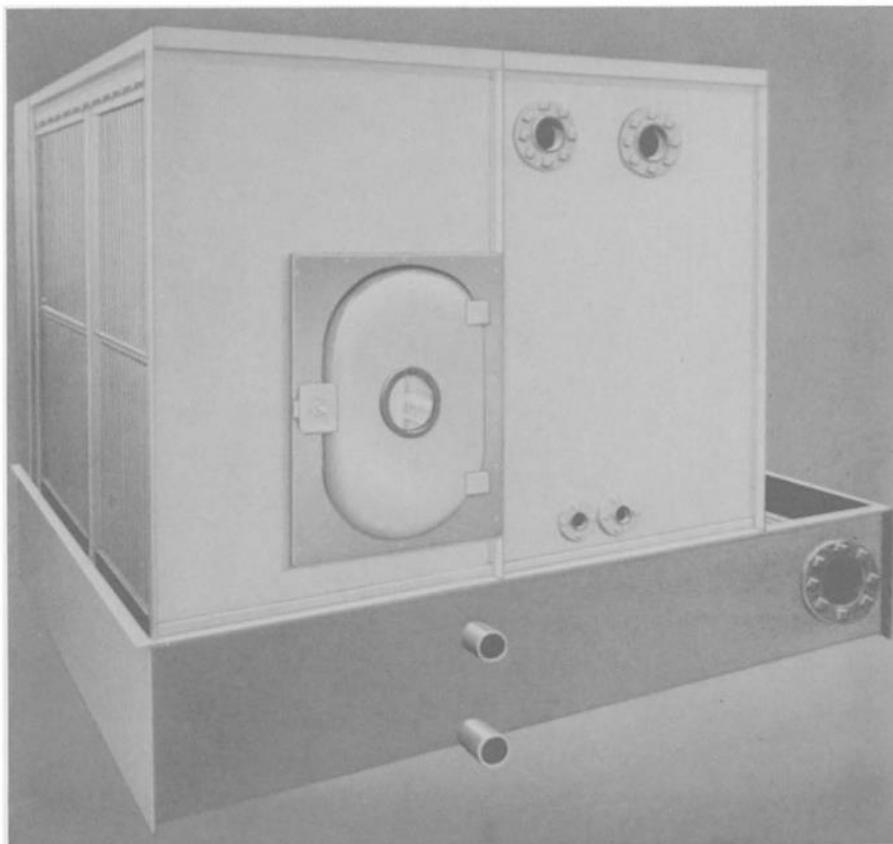
سایر ویژگی‌های هواسازها تقریباً عمومی است: آب تبخیر یا تلف شده از طیف شیرهای شناور تامین شده؛ به منظور کاهش گرفتگی و سایش شیپوره آب فیلتر شده و به پمپ‌های گریز از مرکز تحویل می‌شود؛ به منظور مقاومت در برابر گرفتگی شیپوره‌ها دارای بزرگترین اندازه عملی روزنه هستند؛ و اغلب هواسازها دارای سرریز خودکار بوده و محفظه‌هایی برای مواد شیمیایی ضد رسوب دارند.

پیشرفت‌های جدید

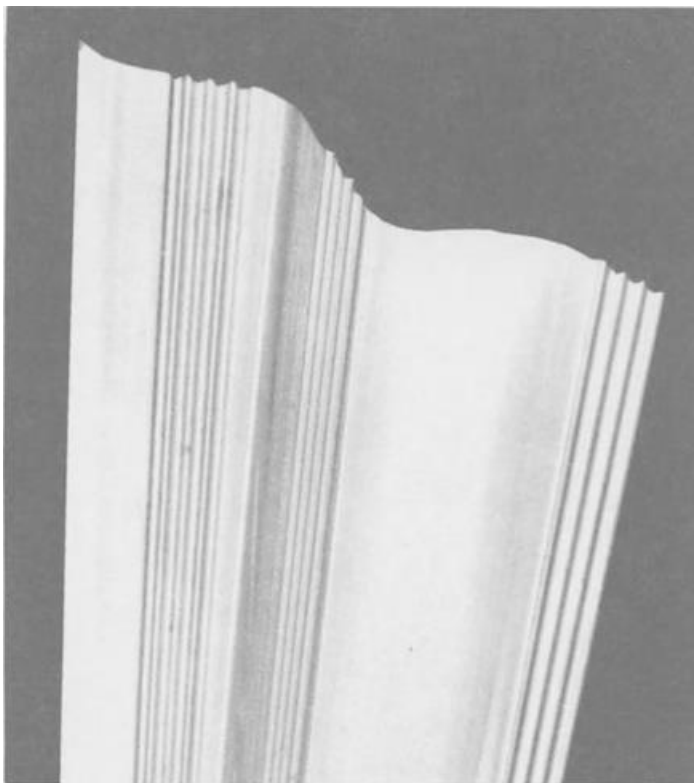
با توجه صرفه‌جویی تا حدود ۵۰ درصد وزن و حجم، هواسازهای پر سرعت ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ fpm (۶/۱) تا ۷/۶ m/s) که رو به افزایش هستند، از طریق طراحی جدید پره قطره‌گیر به این مهم دست یافته‌اند (به شکل ۲ این فصل مراجعه کنید). یکی از سازندگان از پره‌هایی با پهنای غیرمعمولی استفاده می‌کند که در آن به جای چندین پره کوتاه پشت سر هم از دو انحنای سراسری برای تغییر آرام مسیر جریان هوا استفاده می‌شود. نتیجه این کار مقاومت استاتیک کاهش یافته و افشانه محدود می‌شود (به شکل ۳ این فصل مراجعه کنید).

میزان نگهداری هواسازها توسط عوامل انسانی به مقدار زیادی کاهش یافته است. پره‌های ورودی و قطره‌گیر را می‌توان برای تمیزکاری خارج ساخت، صافی‌های دوار مربوط به ورودی پمپ می‌توانند به

صورت خودکار مواد زائد را تخلیه کنند، و تغییر از سرمایش برودتی به تبخیری به صورت خودکار بر اساس شرایط دمای مرطوب و توان برقی مصرفی می‌تواند در طول روز صورت گیرد.



شکل ۲- یک هواساز پرسرعت با نام تجاری Pneumafil. به دلیل مشکلات فضا، وزن و قیمت، در هواسازهای تجاری از طریق افزایش سرعت‌های داخلی هوا اندازه هواساز کاهش داده می‌شود. سرعت هوای ۱۲۰۰ تا ۶/۱)۱۵۰۰ fpm تا m/s (۷/۶) زمان تماس هوا و آب را کاهش داده و در نتیجه میزان افشانه بالا بوده به طوری که مقدار شیپوره‌های بزرگترین هواساز به ۷۶۰ عدد می‌رسد. به اندازه هدرهای (header) آب در بالا و همچنین برگشت آب به سمت مکش پمپ، در پایین-سمت راست، توجه کنید.



شکل ۳- یک پره قطره‌گیر هواساز پرسرعت با نام تجاری Pneumafil. این پره‌ها با فاصله نزدیک از هم، در قبل و بعد از محفظه افشانه قرار داشته تا هوای خشک از بین آن‌ها عبور کرده ولی قطرات بدان‌ها برخورد نموده و گرفته شوند. طراحی خاص موجب محدودسازی افت‌های فشار استاتیکی حتی در سرعت هوای ۱۵۰۰ fpm (۷/۶ m/s) می‌شود. این سرعت‌ها موجب صرفه‌جویی در وزن و اندازه و در نتیجه هزینه اولیه می‌شود.

عملکرد سرمایش

همان گونه که ذکر شد، هواسازها به چند طریق ایجاد سرمایش می‌کنند:

۱. تنها از طریق سرمایش محسوس: وقتی دمای آب افشانه تقریباً با نقطه شبنم هوای ورودی برابر می‌شود، نقطه شبنم و میزان رطوبت هوا ثابت مانده ولی دماهای خشک و مرطوب کاهش می‌یابند.
۲. سرمایش محسوس با رطوبت‌زدایی: وقتی دمای آب افشانه کمتر از نقطه شبنم هوای ورودی است، نقطه شبنم، میزان رطوبت هوا و دماهای خشک و مرطوب همگی کاهش می‌یابند.

۳. سرمایش محسوس با رطوبت‌زنی معتدل: وقتی دمای آب افشانه بین نقطه شبنم و دمای مرطوب هوای ورودی است، نقطه شبنم و میزان رطوبت هوا افزایش یافته ولی دماهای خشک و مرطوب کاهش می‌یابند.

۴. سرمایش آدیاباتیک یا تبخیری: وقتی آب افشانه طی تماس کامل با آب گردش می‌کند و در نتیجه هم‌زمان آب و هوا به دمای مرطوب هوای ورودی می‌رسند، دمای مرطوب و انتقالی کل هوا ثابت مانده، میزان رطوبت و رطوبت نسبی افزایش یافته و دمای خشک کاهش می‌یابد.

در آخرین حالت، حجم بسیار زیادی از هوای خارج به درون هواساز کشیده شده و خنک و رطوبت‌دهی می‌شود. سپس هوا از طریق فضای تهویه شده گردش کرده و گرمای ساختمان، اثاثیه و افراد را جذب می‌کند. با خروج آن به بیرون گرما با آن خارج می‌شود (به فصل ۳ مراجعه کنید).

مزایا و معایب

سه مزیتی که هواسازها نسبت به سایر کولرهای تبخیری دارند موجب گسترش استفاده آن‌ها در صنعت شده‌است. اول این که آن‌ها ساده‌ترین ترکیب را برای یک سرمایش تبخیری در اندازه بزرگ ارائه داده که شامل هر دو فرآیند سرمایش (شامل نوع برودتی) و گرمایش می‌شود. بدین ترتیب حداکثر قابلیت انعطاف و دقت در کنترل حاصل می‌شود.

دوم، در صورت تجهیز به پاک‌کننده‌ها یا قطره‌گیرهای غرقابی، این دستگاه‌ها شاید بهتر از بقیه در برابر گرفتگی ناشی از غبارات هوابرد مقاومت می‌کنند.

سوم، در صورت طراحی، این دستگاه‌ها می‌توانند هوا را تا دمای مرطوب خنک کرده و در نتیجه می‌توان از حجم هوای کمتری (و در نتیجه فن و کانال کوچکتری) در مقایسه با سایر کولرهای تبخیری استفاده کرد.

متأسفانه، به عنوان کولرهای تبخیری، هواسازها دارای چند عیب هستند:

آن‌ها حجیم‌تر، سنگین‌تر، گران‌تر و پر سر و صداتر از انواع غربی (منظور غرب آمریکا است- مترجم) هستند.

مقاومت آن‌ها در برابر هوا بسیار زیاد است که دلیل آن سرعت هوای به کار گرفته شده‌است که در هواسازهای کم سرعت به طور میانگین به 500 fpm ($2/5 \text{ m/s}$) و در هواسازهای پرسرعت 1300 fpm ($6/6 \text{ m/s}$) است که در قطره‌گیرهای ورودی و خروجی نیز با مسیرهای هوای پر پیچ و خمی

همراه است. از آنجا که جهت کسب حداکثر سرمایش، افشانه بر خلاف جریان هوا عمل می‌کند، تلفات فشار استاتیک می‌تواند بیش از یک اینچ آب (۲۴۹ Pa) باشد.

این دستگاه‌ها با پودر (تمیزه) کردن آب، سطح تماس بزرگی بین آب و هوا ایجاد می‌کنند. این امر مستلزم ظرفیت و توان پمپاژ بالا در مقایسه با سایر کولرهای تبخیری است که از طریق خاصیت موینگی، لایه سیال بر روی سطوح یا الیاف ساکن حرکت می‌کند.

نسبت به ظرفیت، هواسازها معمولاً دارای سطح مرطوب و قابل خوردگی بزرگتری بوده و روزنه (اریفیس) های کوچکی دارد که می‌توانند ساییده یا گرفته شوند در نتیجه هزینه تعویض، نگهداری و تمیزکاری آن‌ها بالاتر است.

هواسازهای نوع سلولی

در سال ۱۹۳۵ در نیویورک، شخصی به نام Walter L. Fleisher هواسازهای نوع سلولی را به منظور جایگزینی با انواع گران قیمت‌تر ابداع کرد. آن‌ها شبیه کولرهای تبخیری آبی-پرتابی و با پد افشانه‌ای هستند که در آن‌ها تماس بین هوا و آب ابتدا در افشانه‌های آب کم فشار و سپس در پدهای خیس که توسط آن افشانه‌ها خیس می‌شوند رخ می‌دهد. در حال حاضر، در صورت وجود، تنها سازندگان معدودی از این هواسازها وجود دارد ولی تعداد زیادی از آن‌ها در حال کار هستند.

همچون سایر هواسازها، آن‌ها بدون فن یا دمنده بوده و معمولاً در تجهیزات دارای فن نصب شده و هوا را از طریق آن‌ها دریافت می‌کند. این هواسازها بسیار ساده‌تر و کوچک‌تر از انواع قدیمی بوده و در دفع ریزترین ذرات جامد از هوا یا گاز بسیار عالی هستند.

ساختار

اغلب هواسازهای نوع سلولی دارای تونل‌های کوتاه و پهن فلزی هستند که در پایه آن‌ها تشت آب روبازی قرار دارد که کف آن برای سهولت در پاک‌سازی لجن و ته نشست جمع شده، به صورت شیب‌دار است. در بالای آن‌ها یک یا چند ردیف افقی از سلول‌های اشباع عمیق انباشته از الیاف شیشه‌ای وجود دارد که طوری شیب دارند که هوا از آن‌ها با زاویه ۴۵ درجه رو به پایین گذر می‌کند. بخش ورودی هوای این هواسازها می‌تواند باز بوده یا به کانل کشی متصل باشد. برخی دارای فیلتر هوا بوده ولی اغلب آن‌ها خود هوا را تمیز می‌کنند. بخش خروجی معمولاً دارای کویل‌های گرمایش، سرمایش، درب دسترسی و اتصالاتی به پوسته فن یا کانال است.

مساحت رخ تمام ردیف سلول‌ها بزرگ است. در بالای هر ردیف سلول، ردیفی از شیپوره‌های افشاننده قرار دارد که آب را به بالای سلول هدایت می‌کنند. جریان هوا این افشانه را به داخل و زیر سلول هدایت می‌کند.

سلول‌های موبین

پدهای منحصر به فرد این هواسازها از سلول‌های مجزای تعویض‌پذیری به ابعاد ۲۰ اینچ در ۲۰ اینچ در عمق ۸ اینچ (۵۰/۸ در ۵۰/۸ در ۲۰/۳ سانتی‌متر) ساخته شده‌اند که درون قاب‌های لبه‌داری قرار دارند که بالا و پایین آن با لایه واحدی از توری الیاف شیشه‌ای پوشیده شده‌است. در بین این لایه‌ها، در هر سلول تقریباً ۵۷ هزار رشته شیشه‌ای موازی به قطر ۰/۱۱ اینچ (۲۸ mm)، طول ۸ اینچ (cm) و مساحت تقریبی ۱۲۵ فوت مربع (۱۱/۶۱ m²) قرار دارد. جهت این رشته‌ها به موازات جهت جریان هوا و آب بوده و با توجه به انحنای جزئی خود از هم اندکی فاصله دارند. سطح مقطع کل آن‌ها حدود ۱/۵ درصد مساحت رخ سلول بوده، در نتیجه در اطراف هر رشته سطح زیادی برای جریان هوا وجود دارد. در حین عبور، آب و هوا به هزاران جریان با تماس کوچک تقسیم می‌شوند که موجب حداکثر شدن انتقال رطوبت در حداقل فضا می‌شوند.

علاوه بر در برگیری رشته‌های شیشه، لایه توری فوقانی به توزیع یکنواخت افشانه آب در سلول‌ها کمک کرده و لایه زیرین موجب می‌شود که لایه آب خروجی به صورت قطره در آمده تا راحت‌تر خارج شوند. در غیر این صورت، آب اضافی به صورت یک ذره هوا برد سلول را ترک کرده و احتمالاً در پایین دست جریان موجب خسارت می‌شود.

جریان هوا با کمک جاذبه، آب اضافی را از طریق سلول‌ها به درون تشت هدایت کرده و سپس پمپ گریز از مرکز آن را دوباره به گردش در می‌آورد. وقتی سلول‌ها در ردیف‌های چندتایی قرار دارند، تشت‌های گردآوری‌کننده زیرآب، آب اضافی را مستقیماً دریافت می‌کنند. بدین ترتیب، سلول‌ها در برابر آب خروجی سایر سلول‌ها محافظت شده و ذرات جامد گیر کرده نیز به بیرون از آن‌ها شسته می‌شوند. از طریق شیرهای شناور نیز آب تبخیر شده جایگزین شده و زائادات نیز به منظور تخلیه در داخل تشت جای می‌گیرند (به شکل ۴ این فصل مراجعه کنید).

هوای خروجی سلول در بین صفحات قطره‌گیر یا صفحه مشبک نازکی از الیاف شیشه‌ای، نظیر آنچه در کولرهای پرتابی وجود دارد، خشک می‌شوند. قطره‌گیرهای صفحه‌ای کم‌حجم‌تر بوده ولی الیاف شیشه‌ای امکان دسترسی بیشتری را به قطعات می‌دهند. به منظور افزایش اثر خشک‌کنندگی، قطره‌گیرهای با الیاف شیشه‌ای طوری نصب می‌شوند تا هوای تحت فرآیند از بین این الیاف تا حدودی به سمت بالا حرکت کرده و جاذبه به جدایش قطرات افشانه کمک کند.

نرخ خیس کنندگی معمول از 4 gpm ($15/14 \text{ l/min}$) به ازای هر سلول، برای مرطوب‌سازی ساده، تا 9 gpm ($34/07 \text{ l/min}$) در هنگامی که هوا خنک و رطوبت زدایی می‌شود تغییر می‌کند. بدون در نظرگیری میزان افشانه، هر سلول حدود ۶ پوند ($2/72 \text{ kg}$) آب را در خود نگه می‌دارد که بر حسب برآورد، هر رشته شیشه‌ای یک لایه $0/01$ اینچی ($0/25 \text{ mm}$) از آب را حمل می‌کند.

این سلول‌ها علی‌رغم سطح مقطع کوچک اشغال شده توسط الیاف شیشه‌ای و آب دارای مقاومت نسبتاً بالایی در برابر جریان هستند. حالت توری مانند موجب محدودیت زیادی شده، اگر چه آب و هوا در یک جهت (و نه خلاف هم) حرکت می‌کنند. در نتیجه هر سلول دارای حداکثر ظرفیت جریان هوای 1100 cfm ($31/15 \text{ m}^3/\text{min}$) با مقاومت استاتیک $0/41$ تا $0/45$ اینچ آب ($10/3$ تا 113 Pa) است و شامل قطره‌گیرهای مورد نیاز با نرخ جریان آب 4 تا 9 gpm ($15/14$ تا $34/07 \text{ l/min}$) به ازای هر سلول است.



شکل ۴- طرحواره یک هواساز نوع سلولی با نمایش اثرات دما. هوای تازه از سمت چپ با دمای نشان داده شده بر حسب فارنهایت که معادل $26/7 \text{ C}$ برای دمای خشک و $15/6 \text{ C}$ برای دمای مرطوب است وارد می‌شود. با پایین رفتن از مواد نازک پرکننده سلول و بالا رفتن از قطره‌گیرهای نوع فیلترمرطوب، هوا با ضریب تاثیر ۹۷ درصد تا $15/9 \text{ C}$ خنک می‌شود. پاکسازی هوا کامل شده و ناخالصی‌های جامد درون تشت (سمت چپ-پایین) به منظور سهولت در تخلیه، جمع می‌شوند.

وسایل خیس کننده

شیپوره‌های افشاننده‌ای که بر روی لوله‌های هدر افقی در قبل و بالای سلول قرار دارند یک افشانه توپر (و نه توخالی) به صورت هرم مربع القاعده می‌باشند که هر یک 2 تا 3 gpm ($7/6$ تا $11/4 \text{ l/min}$)

با فشار ۴ تا ۹ psi را تحویل می‌دهند. انژکتورهای بخار یا سایر گرمکن‌ها، غالباً برای مقاصد خاص یا شستن سلول‌ها با مواد شوینده داغ در داخل تشت قرار می‌گیرند. غالباً از مواد ضد عفونی کننده، نم‌گیر و یا سایر مواد افزودنی در داخل آب استفاده می‌شود.

تاثیر تمیزسازی هوا

از آن جا که این سلول‌ها چندین مسیر کوچک برای جریان هوا ایجاد می‌کنند که توسط لایه آب احاطه شده‌است، آب ناخالصی‌های هوابرد پس از برخورد در داخل لایه آب به دام افتاده و موجب فیلترسازی بالایی از ناخالصی‌های ریز می‌شوند. حجم افشانه طوری طراحی شده تا سلول را تمیز کند. در حالی که $0.6 \text{ gpm} (2/3 \text{ l/min})$ به ازای هر سلول قادر به ارائه بهترین سرمایش یا رطوبت‌زنی است ولی به منظور اطمینان از خود تمیزشوندگی از $4 \text{ gpm} (15/1 \text{ l/min})$ استفاده می‌شود.

فیلترسازی ذرات ریز به خوبی انجام می‌شود. باکتری‌ها، هاگ قارچ، گرده گیاهان، گرد و غبار و غیره که بزرگتر از ۵ میکرون هستند به میزان ۹۵ درصد پاک می‌شوند. ذرات کوچک‌تر از یک میکرون و اغلب باکتری‌ها کاملاً زدوده می‌شوند. این سلول‌ها می‌توانند بسیاری از بوها، دودها، بخارات، و گازهای محلول در آب و آن‌هایی که در آب چگالیده می‌شوند، شامل دودهای روغنی یا چرب را بزدایند.

البته ممکن است ذرات بزرگ و کرک‌دار در سلول‌ها جا بمانند، در نتیجه کرک، مو، خز و موارد مشابه معلق در هوا باید در همان ابتدا تصفیه یا فیلتر شوند. به طور مشابه، برای گرد و خاک درشت نیز جریان هوا از زیر و در خلاف جریان آب وارد می‌شود. بدین ترتیب ذرات سنگین مستقیماً به درون تشت شسته شده و تنها ذرات ریزتر به درون سلول وارد شده و از طریق لایه سیال زدوده می‌شوند. به طور متناوب لجن جمع شده در درون تشت به فاضلاب تخلیه می‌شود.

عملکرد سرمایش تبخیری

هواسازهای تبخیری تمامی فرآیندهای سرمایش دیگر هواسازها را انجام می‌دهند. در نتیجه بسیاری افراد سرمایش‌های تبخیری و برودتی را ادغام می‌کنند. در آب و هوای رطوبتی، افشانه آب طی فرآیند برودتی سرد و رطوبت‌زایی می‌شود اما در هوای خشک این آب به صورت عادی گردش داده شده و موجب سرمایش تبخیری اقتصادی می‌شود. در صورت از کار افتادن بخش برودتی، بخش تبخیری بلافاصله آماده کار است (به شکل ۵ این فصل مراجعه کنید).

البته بسیاری از این گونه هواسازها به صورت تمام تبخیری در کارخانجات، واحدهای نساجی، و نیروگاه‌ها نصب می‌شوند. از آنجا که سلول‌های استاندارد با $0.5 \text{ gpm} (1/9 \text{ l/min})$ آب افشانه با بازده

تا ۹۷ درصد دمای مرطوب ورودی قادر به سرمایش 1000 cfm هستند لذا بسیار کارآمد محسوب می‌شوند.

برای تاسیساتی که به بازده و فیلترسازی کمتری نیاز است، سازنده مواد پرکن فلزی به ضخامت $2 \text{ (cm } 5/1)$ را ارائه داده که از تعداد زیادی ورق‌های فلزی باز شده تشکیل شده که درون قاب‌های آلومینیومی انباشته شده‌اند که در هنگام تمیزکاری و بازدید قابل خارج سازی هستند. این کار موجب تعویض سلول‌های شیشه‌ای در بسیاری از هواسازهایی می‌شود که صرفاً برای تمیزسازی مورد نظر هستند.

سابقه نشان می‌دهد که در یکی از این دستگاه‌ها، $180,000 \text{ cfm}$ ($85 \text{ m}^3/\text{s}$) برای سرمایش و تبخیر اتاق‌های یکسوکننده^۱ کارخانه آلومینیوم سازی ایجاد شده‌است. همچنین ۸ دستگاه با ظرفیت $45,000 \text{ (m}^3/\text{s } 21)$ در کارخانه دیگری مورد استفاده قرار می‌گرفت. تاسیسات مشابهی برای خنک سازی ژنراتورهای برق کارخانجات ذوب فلز، قالب تشک‌های لاستیکی، موتورخانه‌ها و کمپرسورخانه‌ها و بسیاری از کاربردهای صنعتی بزرگ دیگر استفاده شده‌است.

روند

وزن، قیمت و توان مصرفی هواسازهای تجاری فضاهای بزرگ آن‌ها را آسیب‌پذیر می‌سازد. بنابراین استفاده از آن‌ها در تاسیسات مرکزی سرمایش و گرمایش توسط کولرهای با ماده واسط صلب جدید در معرض تهدید قرار دارد (به فصل ۱۲ مراجعه کنید). حتی صرفه اقتصادی هواسازهای پر سرعت توسط سیستم‌های جدید مورد بهبود قرار گرفته‌است.



شکل ۵- سمت افشانه یک هواساز نوع سلولی چهار ردیفه با ظرفیت $61,600 \text{ cfm}$ ($291 \text{ m}^3/\text{min}$). در مقایسه با سایر هواسازها، بسیار ارزان تر و کم حجم تر بوده، سطح استقرار آن کوچک تر بوده، از آب افشانه و فشار کمتری بهره برده ولی مقاومت بیشتری در برابر جریان هوا دارد. با توجه به عدم قابلیت گرمایش یا سرمایش آب انطباق کمتری هم دارند.

حتی هواسازهای نوع سلولی فشرده و کارآمد نیز در مقایسه با کولرهای تبخیری از یک عیب عمده برخوردار هستند. سرعت تقریبی 400 fpm (2 m/s) آن‌ها در رخ (وجه) ورودی قادر به مقابله با سرعت‌های 750 fpm ($3/8 \text{ m/s}$) و 850 fpm ($4/3 \text{ m/s}$) مربوط به پدهای سلولزی و صلب با پایه شیشه‌ای نیست. افت فشار استاتیک و هزینه توان پمپاژ آن نیز قابل مقایسه نیست.

البته هواسازها قابلیت انطباق زیادی دارند. در نتیجه در صورتی که تنها برای سرمایش تبخیری مدنظر هستند، انتخاب اول مهندسان در بسیاری از کاربردهای تخصصی محسوب می‌شوند.

پرسش‌های دوره‌ای

۱. اهداف تاریخی تهویه مطبوع در جنوب غرب و شمال شرقی آمریکا را شرح دهید.
۲. مزایا و معایب هواسازهای تجاری چیست؟ اصولاً امروزه آن‌ها در کجا به کار می‌روند؟ چرا؟
۳. "غرقاب" در هواسازهای تجاری چیست؟ چرا کویل‌های آب لخت (بدون پره) اغلب در هواسازهایی نصب می‌شود که افشانه به آن برخورد می‌کند؟ چرا از سطوح پره‌دار یا بزرگتر استفاده نمی‌شود؟
۴. محدوده سرعت هوا در هواسازهای عادی و پرسرعت را شرح دهید. سرعت چه تاثیری بر روی بازده اشباع، طول هواساز و هزینه برق دارد؟
۵. چه ناخالصی‌های هوا توسط هواسازها زدوده می‌شوند؟ چه انواعی اغلب از آن می‌گیرند؟ چه صنایعی اصولاً از هواسازهای برای پاک‌سازی هوا استفاده می‌کنند؟
۶. برای انجام موارد زیر به چه دمای افشانه‌ای در هواساز نیاز است:
 - الف- تنها سرمایش محسوس؟
 - ب- سرمایش محسوس به همراه رطوبت‌زدایی؟
 - پ- سرمایش محسوس به همراه رطوبت‌زنی معتدل؟
 - ت- سرمایش تبخیری آدیاباتیک؟
۷. چگونه هواسازهای سلولی با استفاده از یک مقدار کم افشانه آب قادر به ایجاد سطح تماس بزرگ بین آب و هوا هستند؟ چگونه آن‌ها اصولاً هوا را سرد یا گرم می‌کنند (به جز سرمایش تبخیری)؟ به چه صورت دیگری هوا را گرم می‌کنند؟
۸. کارایی هواسازهای نوع سلولی در زدودن ناخالص‌های ریز جامد از هوا چگونه است؟ چگونه سلول‌ها قادر به زدودن مقدار زیادی ناخالصی هستند؟ ذرات کرکی و همچنین دوده‌های چرب چگونه به دام می‌افتند؟
۹. هواسازهای نوع سلولی چگونه به عنوان کولر تبخیری کار کرده و در صورت لزوم چگونه به کولرهای تبریدی تبدیل می‌شوند؟ آیا آن‌ها به عنوان کولر تبخیری بزرگ هستند یا جمع و جور؟ اقتصادی هستند یا گران؟ اگر به میزان خاصی از تمیزسازی هوا نیاز نباشد آیا شما این نوع کولر را برای چنین سرمایشی انتخاب می‌کنید؟ شرح دهید.
۱۰. چه چیزی جایگزین توام انواع هواساز برای سرمایش تبخیری و رطوبت‌زنی در حجم زیاد است؟ چرا هواسازهای تجاری در اینجا آسیب پذیر هستند؟ چرا هواسازهای نوع سلولی نیز فروش خود را از دست می‌دهند؟ این دو نوع چگونه می‌توانند بازار بزرگ خود را به دست آورند؟ شرح دهید.

فصل ۱۲

کولرهای با ماده واسط صلب

ناکارآمدی پدهای تبخیری پوشالی مورد اشاره قرار گرفته شده است. اما جایگزین‌هایی مثل سایر چوب‌ها، فایبرگلاس و کاغذ و غیره نیز دارای نقاط ضعفی هستند. در نتیجه پوشال به بقای خود ادامه داده و تنها پد واسطی است که برای کسب بازده سرمایش خوب به پاشش افشانه‌ای نیاز ندارد. با این حال، کاربران و سازندگان مدت مدیدی است که منتظر مواد کم زحمت‌تری هستند.

مواد جدید

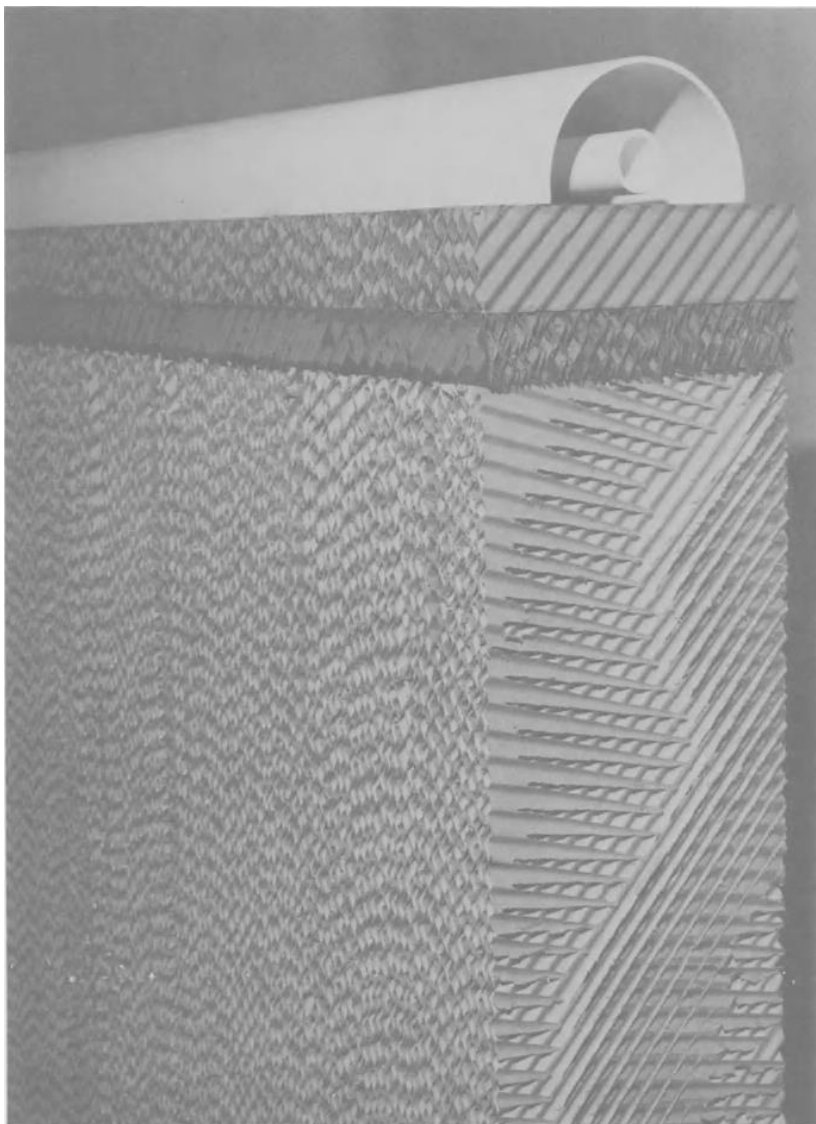
در دهه ۱۹۶۰ شرکت Munters چند ماده واسط منحصر به فرد برای تماس هوا با مایع ارائه داد. این مواد صلب شامل ورق‌های نازک چین‌دار از یک ماده خیس شونده سلولزی مستحکم یا الیاف شیشه هستند که با استفاده از مواد چسبی ملامینه یا فنولیک به صورت چند لایه عمودی خم داده شده و با مواد شیمیایی مقاوم در برابر فساد اشباع شده‌اند. آب به صورت لایه‌های نازک بر روی کل سطح جریان می‌یابد. چین‌های لایه‌های مجاور همدیگر را با زاویه ۶۰ درجه قطع می‌کنند در نتیجه هوا لزوماً به صورت افقی از ۹۵ درصد فضاهای باز عبور می‌کند در حالی که لایه‌های آب بر روی سطوح صلب به سمت پایین حرکت می‌کند. در هنگام عبور از فضاهای شیاردار هوا، که تقریباً به ضخامت یک مداد هستند، هوا طی جریان مغشوش از بین لایه‌های آرام آب متحرک عبور می‌کند.

هوایی که توسط آب فعال در بر گرفته شده، به صورت مکرر جهت خود را در قالب یک الگوی عمودی زیگزاگ تغییر می‌دهد. البته مساحت جریان آن نسبتاً ثابت است، در نتیجه هیچ گونه تاخیر یا تعجیلی صورت نگرفته و حتی در صورت استفاده از پدهای رایج ۱۲ اینچی (۳۰/۵ cm) نیز افت فشار کمی را ایجاد می‌کند. به علاوه، همچون الیاف پوشال، هیچ ماده‌ای مسیر جریان هوا را قطع نمی‌کند. دیواره‌های آبی به جای مقابله، موجب هدایت و احاطه هوا می‌شوند. این امر تشریح می‌کند که چرا پدهای ضخیم‌تری در اینجا مورد نیاز بوده تا سرمایش یکسانی ایجاد شده و چرا افت فشار پایین باقی می‌ماند. با توجه به این که هوا در داخل ماده واسط چندین بار تغییر جهت می‌دهد، در اثر اندازه حرکت، ذرات جامد درون آن به درون لایه‌های آب احاطه کننده پرتاب شده تا آن را به درون تشت زیرین حمل کند. بدین ترتیب حتی با استفاده از آب گردشی و هوای پر گرد و غبار، این پدها اساساً خود تمیز شونده هستند.

عملکرد ماده واسط صلب

چین‌های با شیب ۱۵ درجه‌ای رو به بالا با حرکت هوا، اغلب آب را در نزدیک سمت ورود هوا نگه می‌دارند تا به پاک‌سازی آن کمک کنند. این امر موجب جلوگیری از خروج آب شده و در پدهای دیگر نیز رایج است. از آنجا که جریان هوا اغلب به موازات لایه‌های آب هستند و نظیر پدهای پوشالی به آن برخورد نمی‌کند، آب در امتداد سطح خیس دمیده شده و شیب رو به بالا موجب حفظ آن می‌شود. در نتیجه، در حالی که به منظور جلوگیری از دمیده شدن آب به داخل، سرعت هوا در وجه ورودی پدهای پوشالی در 250 fpm ($1/3 \text{ m/s}$) محدود می‌شود ولی در این ماده واسط جدید سرعت سه تا چهار برابر است (به شکل ۱ این فصل مراجعه کنید).

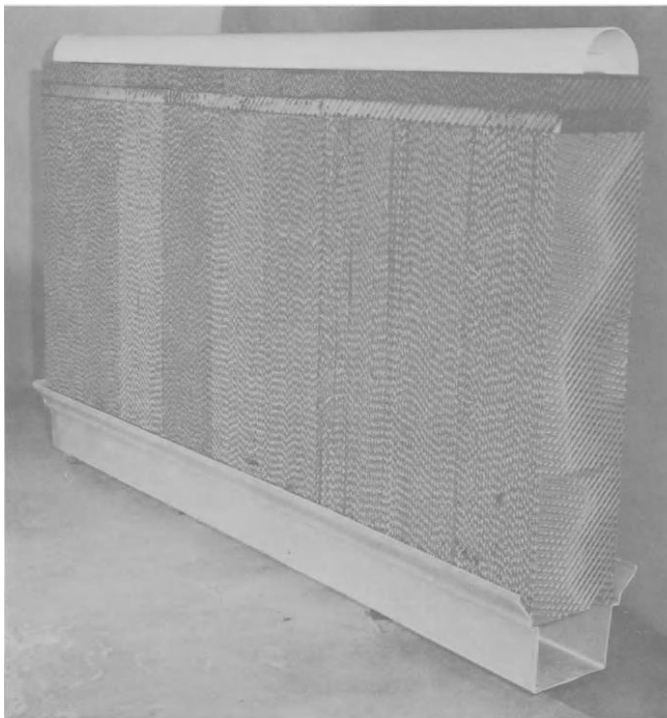
مزایای دیگری نیز وجود دارد. ورق‌های چین‌دار، دارای اثر فیتیله‌ای هستند که مانع از نقاط خشک شده و از پوسیدگی و نشست جلوگیری می‌کنند در نتیجه اغلب پدها چند سال عمر می‌کنند و در حالی که به دلیل تغییرات طبیعی، سطح خیس واحد حجم پدهای پوشالی متغیر است ولی اغلب پدهای صلب در طول عمر مفید خود، به صورت ثابت در هر فوت مکعب خود دارای ۱۲۳ فوت مربع ($403/7 \text{ m}^2/\text{m}^3$) سطح فعال هستند (به شکل ۲ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۱- نمای نزدیکی از ماده واسط کولر Munters. ورق‌های فتیله مانند سلولزی یا الیاف شیشه‌ای چین دار با زوایای متفاوت به هم چسبانده شده و برای هوایی که سرد می‌شود، تعداد بیشماری تونل جریان کم مقاومت تشکیل می‌دهند. در بالا، آب از سوراخ‌های فوقانی درون لوله کوچک به بالا پاشیده شده و به صورت دو "جریان توزیع شونده" بر روی ماده واسط، لایه رو به پایینی را بر روی دیواره‌های داخلی نیم لوله هم مرکز تشکیل می‌دهند. این جریان به صورت یکنواخت به درون پد اشباع زیرین تغذیه شده و به صورت یک لایه خیس کننده به پایین رفته و به صورت متقاطع با هوایی که به صورت افقی حرکت می‌کند، برخورد می‌کند.

عیب عمده آن‌ها لزوم ضخامت بیشتر به ازای بازده اشباع یکسان است که مانع از استفاده از آن‌ها در کولرهای آبی می‌شود. البته سرعت ورودی بالاتر و افت فشار پایین‌تر موجب ترویج استفاده از آن‌ها در انواع جدید کولرهای معادل شده‌است.

در این ماده واسط، بازده اشباع ویژه یا بازده سرمایش با سرعت هوا و ضخامت پد تغییر می‌کند. استفاده از پدهای ۱۲ اینچی (۳۰/۵ cm) که در کولرهای بزرگ رایج است معمولاً بسته به سرعت هوا، بازده اشباعی از ۸۸ تا ۹۸ درصد را تحویل می‌دهد. در مورد پدهای ۸ اینچی (۲۰/۳ cm) این بازده بین ۷۵ تا ۹۵ درصد و برای پدهای ۶ اینچی (۱۵/۲ cm) این بازده بین ۶۵ تا ۸۵ درصد است. همچنین پدهای ۱۸ اینچی (۴۵/۷ cm) این بازده بین ۹۶ تا ۱۰۰ درصد و در پدهای ۲۴ اینچی (۶۱ بازدهی بین ۹۸ تا ۱۰۰ درصد دارند.



شکل ۲-مقطع یک کولر با ماده واسط صلب با نام تجاری Munters. زوایای خروجی رو به بالا و جریان آرام هوای بین سطوح خیس ماده واسط، از دمیده شدن آب حتی در سرعت‌های بالا ممانعت می‌کند. بدین ترتیب به مسیرهای باریکی از آب و تشت متناسب با آن نیاز است. در نتیجه بالاتر بودن سرعت مجاز می‌توان از وجوه کوچک‌تری استفاده کرده و سرمایش یکسان با پدهای الیافی ایجاد کرد، البته به ضخامت بیشتری تیاژ است. به دلیل سطوح خیس موازی، که به صورت متقاطع یا مخالف جریان هوا نیستند، علیرغم سرعت‌ها و ضخامت‌های غیرمعمول، مقاومت در برابر جریان اندک است.

ماده واسط می‌تواند از جنس سلولز یا الیاف شیشه باشد. سلولز برای سرمایش تبخیری و رطوبت زنی مناسب بوده و تا دمای $F 120$ ($C 48/9$) و اسیدیته بین ۶ تا ۹ ph با آب کار می‌کند. نوع فایبرگلاس نیز تا $F 165$ ($C 73/9$) و اسیدیته بین ۵ تا ۱۰ ph با آب کار می‌کند. هر دو نوع می‌توانند هوا را تا $F 300$ ($C 148/9$) بپذیرند. واسط شیشه‌ای هوا را کمی بهتر اشباع کرده، سرعت هوا در آن بدون دمیده شدن آب بالاتر بوده و عمر طولانی‌تری دارد. در غیر این صورت، از هر دو این مواد می‌توان برای سرمایش تبخیری و رطوبت زنی استفاده کرد. در یک برج خنک‌کن، از ماده واسط صلب مشابهی استفاده شده و طی آن آب پاشیده شده به پایین جریان داشته و هوا برخلاف آن رو به بالا جریان دارد.

در حالت سرمایش، حداکثر سرعت هوای ورودی برای ماده واسط سلولز، 750 fpm ($3/8 \text{ m/s}$) و برای الیاف شیشه 850 fpm ($4/3 \text{ m/s}$) است. نرخ جریان آب، به ازای هر فوت مربع سطح افقی بالای پد، حدود $1/5$ گالن بر دقیقه ($6/11 \text{ l/m}^2$) است. پدهای بلندتر از ۶ فوت ($1/83 \text{ m}$) به ۱۰ تا ۲۰ درصد آب اضافی نیاز دارند.

کولرهای بزرگ با ماده واسط صلب

مواد جدید بر روی کولرهای تبخیری بزرگ، بیشتر از انواع کوچکتر تاثیر دارند. این موضوع در هواسازها تاثیر منفی بیشتری دارد. برای سرمایش و رطوبت‌زنی، پیچیدگی و حجم آن‌ها با یک پد تکی ۱۲ اینچی ($30/5 \text{ cm}$) به همراه یک تشت و پمپ کوچک جایگزین شده و هزینه، فضای جایگیری، وزن و سر و صدا نیز کمتر می‌شود.

ماده واسط صلب در ستون‌های عمودی استاندارد مربعی ۱۲ اینچی به ارتفاع ۶ فوت ($30/5 \text{ cm}$) در $30/5 \text{ cm}$ در $1/83 \text{ m}$ ارائه می‌شود. آن‌ها اغلب در کنار هم و بدون اتصال یا قاب در کولرهای بزرگ نصب شده و می‌توانند با استفاده از تکیه گاه و اتصالات افقی تا ۱۰ فوت ($3/05 \text{ m}$) روی هم قرار گیرند. برخی کولرهای تبخیری بزرگ از چنین روشی استفاده کرده و پدهای با ارتفاع ۱۰ فوت ($3/05 \text{ m}$)، ضخامت ۱۲ اینچ ($30/5 \text{ cm}$) و طول ۱۲ فوت ($3/66 \text{ m}$) بر بالای تشت‌های به عرض ۳۰ اینچ ($30/5 \text{ cm}$) ($76/2$) تشکیل می‌دهند. این کولرها عموماً بدون فن ارائه شده ولی بسته‌های کامل آن نیز موجود هستند (به شکل ۳ این فصل مراجعه کنید).

آبی که به طور یکنواخت در بالای پد توزیع می‌شود، از یک یا دو "پد توزیع کننده" با جنس مشابه به ضخامت ۲ تا ۳ اینچ ($5/08$ تا $7/6 \text{ cm}$) بهره می‌گیرد که در بالا و درون دیواره‌های فلزی قرار دارد. از سر تا ته این پدهای توزیع کننده، لوله‌های توزیع کننده PVC (پلاستیک پلی وینیل کلراید) قرار

داشته که معمولاً در بالای خود در هر سه اینچ (۷/۶ cm) فاصله، سوراخ‌هایی با قطر $\frac{1}{8}$ یا $\frac{5}{32}$ (۳/۱۸) یا ۳/۹۷ میلی‌متر) قرار دارد. این سوراخ‌ها، آب را به نیم لوله‌های ۶ اینچی (۱۵/۲ cm) PVC می‌پاشد که به صورت هم مرکز بر بالای لوله‌های کوچک‌تر قرار دارند. فوران‌های آب، به صورت لایه‌های پیوسته‌ای، به داخل نیم لوله توزیع می‌شود که از طریق دیواره‌های داخلی به پایین جریان یافته و وارد پدهای توزیع کننده‌ای می‌شود که در دو خط موازی قرار داشته و به منظور اشباع‌سازی یکنواخت ماده واسط زیر آن‌ها، در داخل آن‌ها توزیع می‌شود. لوله‌ها معمولاً در مجاور سمت ورودی هوای پد قرار داشته و به هوای خشک‌تر و پر گرد و خاک‌تر، آب بیشتری می‌رسانند.

در پایین، کف پدها در بالای تشت آب به صورت سراسری تکیه دارد. در سیستم گردش آب، تشت حاوی آبی حدود ۱۰ درصد حجم کل پدها است. تشت دارای شیر شناور، توری محافظ پمپ و غیره است. در برخی کولرها از پمپ‌های غوطه‌ور (مستغرق) استفاده شده و در بقیه به منظور سهولت تعمیرات از پمپ‌های خارجی استفاده می‌شود.

در جاهایی که آب ارزان است، در برخی از کولرها از سیستم یک‌سره و غیر گردش استفاده می‌شود. در این حالت شیرهای برقی جایگزین شیرهای شناور می‌شوند. این کار احتمالاً عمر پد و کارایی آن را حداکثر می‌سازد.

در بیشتر مواقع آب گردش کرده و همانگونه که در فصل ۷ گفته شد مواد معدنی آن تغلیظ می‌شود. به منظور جلوگیری از رسوب پوسته‌ای، بسته به نوع آب، حدود ۳ تا ۶ درصد جریان به صورت پیوسته دورریز می‌شود. در صورت ناکافی بودن، در سمت ورودی هوای پد، رسوب پوسته‌ای تشکیل شده ولی با افزایش آب دورریز ناپدید می‌شود که در صورت عدم تحقق این امر می‌توان از تصفیه شیمیایی استفاده کرد. رشد جلبک نمی‌تواند به پد صدمه برساند ولی می‌تواند موجب انسداد جریان شود در نتیجه می‌توان از مواد ضد جلبک استفاده کرد.

وقتی به بازده‌های اشباع بسیار بالایی نیاز است، می‌توان به پد استاندارد ۱۲ اینچی، پدهای ۴، ۶، ۸، ۱۰ و حتی ۱۲ اینچی را ملحق کرد. اگر پدهای اصلی و الحاقی کمی جدا شده و تامین آب آن‌ها مجزا باشد، تامین آب به پدهای انتخابی مختل شده و بر سرمایه‌ش تاثیر می‌گذارد. این امر موجب می‌شود که با توجه به امکان تشکیل رسوب پوسته‌ای از پدهای نیمه خیس یا نیمه خشک اجتناب شود.

تغییر سرعت هوا نیز موجب کنترل سرمایه‌ش می‌شود. افزایش سرعت موجب کاهش بازده سرمایه‌ش و کاهش سرعت موجب افزایش این بازده می‌شود. این تغییرات می‌تواند از طریق تعویض پولی فن یا محدودسازی ورودی یا خروجی فن تامین شده که افت توان زیادی به همراه دارد. امروزه، فن‌های

محوری با پره‌های راهنمای خروجی^۱، بدون خاموشی پمپ یا کاهش بازده، موجب سهولت در تغییر میزان خروجی می‌شوند. البته این کار موجب سر و صدا و فقدان مشخصه‌های فشار مورد نظر می‌شود. با توسعه اصلاحات بیشتر، کولرهای بزرگ با ماده واسط صلب می‌توانند تطبیق پذیری در حد هواسازها داشته باشند. برخی مدل‌های این کولرها داری کویل‌های پره‌دار، در پشت سراسر پد بوده در نتیجه آب سرد شده یا گرم می‌تواند موجب سرمایش یا گرمایش شود. در مدل‌های خیلی مجهز، امکان کنترل عالی رطوبت میسر بوده و بازار جدیدی برای این کولرها گشوده می‌شود.

کاربردهای کولرهای بزرگ

کولرهای بزرگ با ماده واسط صلب، مدت‌ها است که برای سرمایش و تهویه کارگران و تجهیزات صدها واحد صنعتی شامل موارد زیر کار می‌کنند:

- نورد فولاد، ریخته‌گری، ذوب فلزات و پالایشگاه
- واحدهای صنایع لاستیک‌سازی، شیشه، پلاستیک و شیمیایی
- نیروگاه‌های دیزل، بخار و هسته‌ای
- کارخانجات اتومبیل‌سازی، هواپیماسازی و غیره
- کارخانجات کاغذسازی، دخانیات و نساجی
- گاراژها، کارگاه‌های جوشکاری و نقاشی، آزمایشگاه‌ها
- رختشویخانه‌ها، آشپزخانه‌ها و واحدهای صنایع غذایی
- موتورهای الکتریکی، ژنراتورها و کلیدهای برقی
- کوره‌ها، دستگاه تقطیر و رآکتورها
- گلخانه‌ها، دامداری‌ها و مرغداری‌ها

همچنین سرمایش تئاتر، سالن سخنرانی، کلیسا، مدرسه، باشگاه بولینگ، سالن ورزش، انبار و آشیانه هواپیما با این سیستم انجام می‌شود. یک کاربرد غیر معمول نیز خنک‌سازی هوای ورودی توربین‌های گاز است (به شکل ۴ این فصل مراجعه کنید).

کولرهای نوع اگزوزی^۲

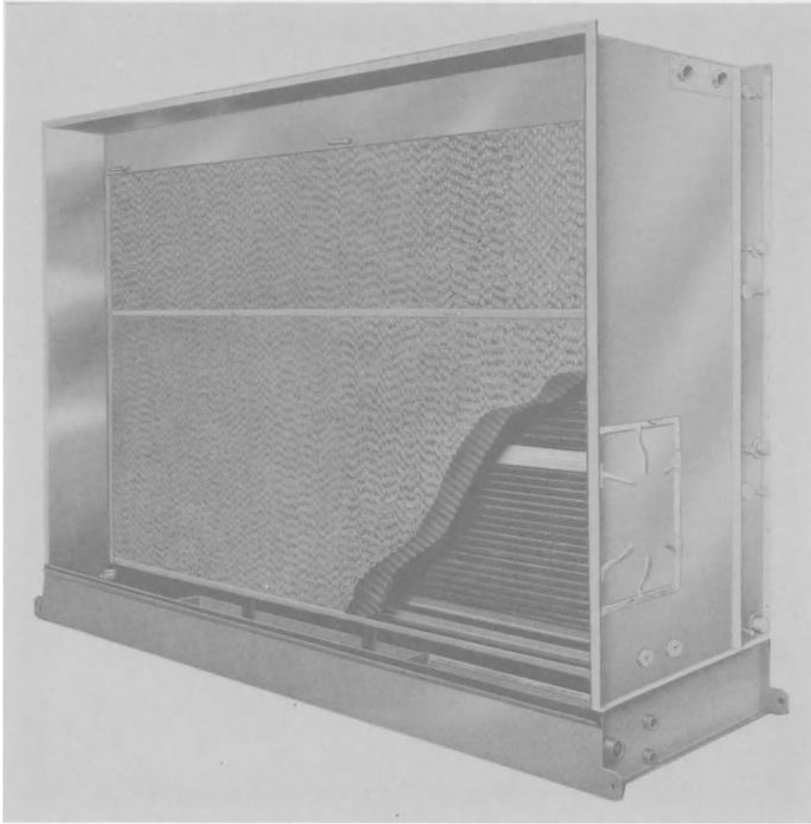
بسیاری از کولرهای با ماده واسط صلب دارای اگزوز فن‌های بیرونی هستند. همچون کولرهای تاریخی با پد پنجره‌ای تگزاسی، این کولرها، در ساختمان‌های آب‌بندی شده، دارای تعدادی پانل پد هستند

1- Feathering blades
2- Exhaust type coolers

که در پنجره یا دهانه‌های بزرگ دیوار نصب شده و اغلب فن‌هایی که در فاصله دور نصب شده‌اند هوای شسته شده را از آن‌ها می‌کشد.

از اجداد نزدیک این کولرها، پدهای پوشالی تخت آبی هستند که در ۳۰ سال پیش در دیوار صدها گلخانه نصب شده و توسط اگزوز فن‌های غیرمتصل کار می‌کردند. این کولرها موجب جلوگیری از گرمای بیش از حد در تابستان شده و رطوبت اضافی و دی اکسید کربن محیط را تامین می‌کردند. پدهای مشابهی برای سرمایش دامداری‌ها و مرغداری‌ها استفاده می‌شدند. با استفاده از کولرهای نوع اگزوز دیگر نیازی به تعویض سسالانه پدها نبوده و در مصرف پوشال صرفه جویی می‌شود.

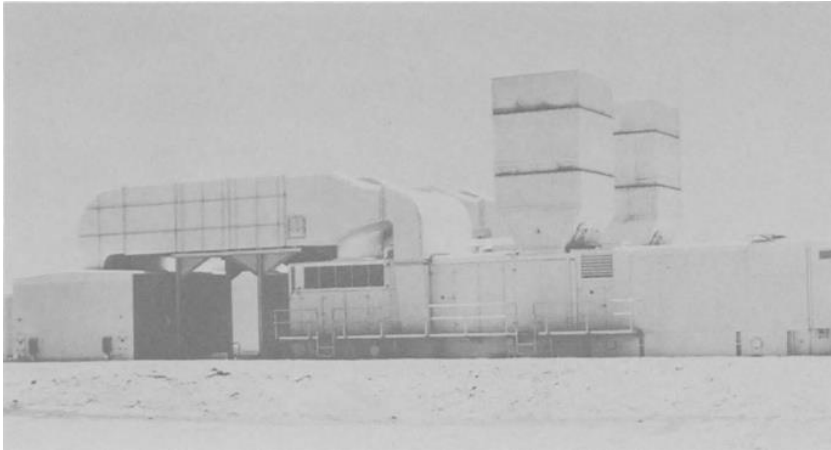
بسیاری از پانل‌ها به صورت سنتی قابل نصب بر روی دهانه‌های موجود درون دیوار هستند که در آن‌ها تعداد لازم از ماده واسط به صورت بلوک‌هایی به عرض ۱۲ اینچ (۳۰/۵ cm) برای طول مورد نظر استفاده شده و ارتفاع آن نیز با نمونه‌های ۱۲ اینچی (۳۰/۵ cm) در اندازه‌های تا ارتفاع کل بین ۲۴ تا ۹۶ اینچ (۶۱ تا ۲۴۳/۸ cm) است. سپس قاب، ناودانی و موارد دیگر برای آن طراحی می‌شود. این پدها می‌توانند در هر سمت گلخانه‌های طویل و برخی نقاط دامداری‌ها و مرغداری‌ها به کار رفته و دارای چندین تشت، پمپ و اگزوز فن باشند.



شکل ۳- یک کولر با ماده واسط صلب با نام تجاری Buffalo Forge که از نمای سمت خروجی هوا مشاهده می‌شود. این دستگاه می‌تواند ۵۰ فوت (۱۶/۴ m) طول، ۱۲ فوت (۳/۹ m) ارتفاع و کمتر از یک یارد (۰/۹۸ m) ضخامت داشته باشد. به فلنج‌های طرفین کولر، برای اتصال به کانال‌های دیگر تجهیزات (شامل محفظه دمنده)، توجه کنید. همچنین به کویل لوله‌ای پرده‌دار پشت ماده واسط توجه کنید. که می‌تواند با انتقال آب سرد یا گرم موجب گرمایش در زمستان شده و در صورت افزایش رطوبت و ناتوانی نوع تبخیری از طریق سرمایش برودتی در تابستان عمل کند. بدین ترتیب این دستگاه می‌تواند قابلیت در حد هواساز داشته باشد.

کاربران ابتدا بر اساس میزان تعویض هوای لازم یا روش‌های دیگر مقدار $\text{cfm}(\text{m}^3/\text{s})$ لازم برای سرمایش ساختمان خود را به دست می‌آورند. سپس آن‌ها تعداد و اندازه پانل‌های لازم را انتخاب کرده و میزان دهانه پنجره لازم برای آن را تعیین می‌کنند که بهتر است در جهت بادهای تابستانی باشد. سپس اگزوز فن‌ها قرار می‌گیرند تا هوای شسته شده را به صورت یکنواخت از ساختمان دریافت کرده و آن را، تر جیحاً به سمت پشت به باد، تخلیه کنند (به فصول ۱۵ و ۱۶ مراجعه کنید).

کولرهای پانل‌دار معمولاً دارای پدهای صلب ۴ یا ۶ اینچی (۱۰/۲ یا ۱۵/۲ cm) بوده که درون قاب‌های گالوانیزه‌ای قرار می‌گیرند که ناودانی پایین آن آب تخلیه شده از پد را گردآوری کرده و بالای آن نیز لوله سوراخ‌داری برای توزیع آب وجود دارد که قبلاً بدان اشاره شد. آب چندین ناودانی می‌تواند به یک تشت منتقل شده تا توسط پمپ گردش داده شود. بدین ترتیب مانع از تعدد شیر شناور، سبد صافی، لوله سرریز، خروجی آب دورریز و سیم کشی و استفاده از پمپ بزرگ‌تر می‌شود.



شکل ۳- خنک‌کن هوای ورودی توربین گاز در آریزونا، با نام تجاری Buffalo Forge. برای تولید هوای احتراقی سردتر و چگال‌تر، کولرهای با ماده واسط صلب، در دیوارهای محفظه منتهی‌الیه سمت چپ، هوا را با بازده ۸۰٪ خنک و اشباع می‌کنند. سپس یک کانال بزرگ عایق، از بالای کولر، هوا را به توربین گاز واقع در وسط تحویل می‌دهد که خروجی (اگزوز) آن از طریق دودکش‌های عمودی است. این سرمایش، حتی در اقلیم‌های خنک، موجب تقویت توان خروجی موتور و بازده می‌شود. از آنجا که کولر رطوبت را تبخیر می‌کند هیچ تلفاتی به خاطر گرمای نهان در توربین رخ نمی‌دهد.

پانل‌های صلب با ضخامت ۴ اینچ (۱۰/۲ cm) تنها به ۰/۵ gpm به ازای هر فوت طول (۶/۲ l/m) نیاز دارند در نتیجه یک پمپ تکی می‌تواند تا ۹۰ فوت (۲۷/۴ m) از طول پد را تغذیه کند. مخزن تشت دارای حجم ۰/۷۵ گالن به ازای هر فوت مربع (۳۰/۶ l/m²) مساحت پد است (به شکل ۵ این فصل مراجعه کنید).

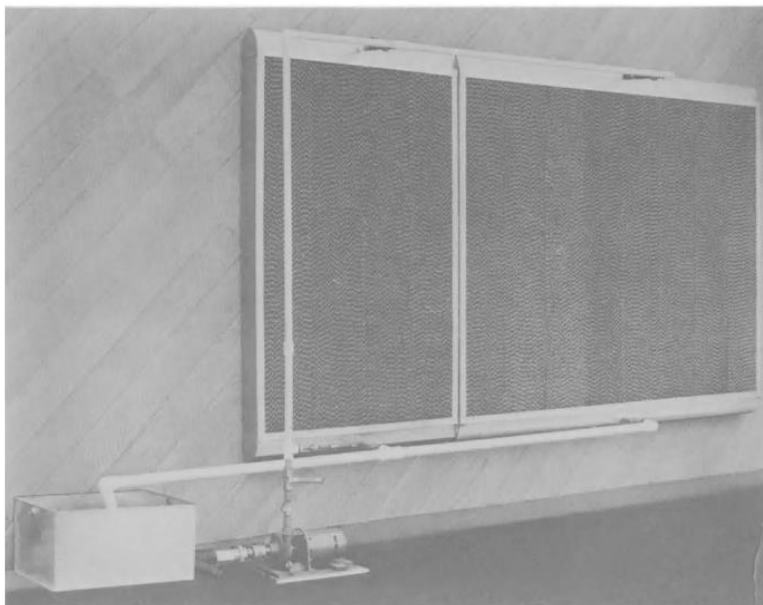
فن‌ها و پمپ‌ها با کمک هم موجب سرمایش تبخیری می‌شوند. فن‌ها موجب عمل هوارسانی می‌گردند. بدون هم، عمل پد همچون یک پنجره نیمه باز است. در طی زمستان، آن‌ها توسط دریچه‌های هوابندی شده بسته می‌شوند. این دریچه‌ها در اثر کارکرد فن به صورت خودکار، یا در صورت نیاز به هوارسانی طبیعی، به صورت دستی باز می‌شوند.

در حال حاضر، سرمایه‌ش نوع آگزوزی بیشتر در کشاورزی کاربرد دارد اما در صنایع و کارخانجاتی که دارای آگزوزفن یا پنجره‌های بزرگ برای هوارسانی هستند نیز می‌توان از پانل‌های دیواری استفاده کرد (به فصول ۱۳ و ۱۴ مراجعه کنید).

کولرهای کوچک با ماده واسط صلب

با استفاده از پدهای صلب ضخیمی که نصب آن‌ها در کولرهای آبی دشوار است، کولرهای کوچک جدیدی برای استفاده از آن‌ها طراحی شده‌است. سرعت‌های مجاز بالای این کولرها موجب کاهش عمده مساحت مورد نیاز پد می‌شود، به طوری که یکی از آن‌ها معادل سه پد پوشالی است. به علاوه، جنس ماده ضدپوسیدگی و ضدنشست و خود تمیز شونده آن‌ها عاری از اشکالات معمول پدهای پوشالی است.

در یک مدل کولر جدید از سه پد به ضخامت ۶ اینچ (۱۵/۲ cm) به صورت کولر آبی استفاده می‌شود. با استفاده از یک فن با قطر ۲۴ اینچ (۶۱ cm)، این کولر ۵۰۰۰ cfm ($2/4 \text{ m}^3/\text{s}$) هوای تا ۷۰ درصد خنک شده را تحویل می‌دهد. این فن احتمالاً موجب می‌شود استفاده از این کولر به موارد بدون کانال، نصب در پنجره یا نصب در دیوار محدود شود (به شکل ۶ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۵- یک کولر پانلی نوع مکشی که اغلب در مرغداری‌ها، دامداری‌ها و گلخانه‌ها استفاده شده ولی در جاهای دیگر نیز قابل استفاده است. این پانل‌ها ابعاد پنجره یا دهانه را کاملاً می‌پوشانند و در مقایسه با پانل‌های با پد پوشالی به طول یا

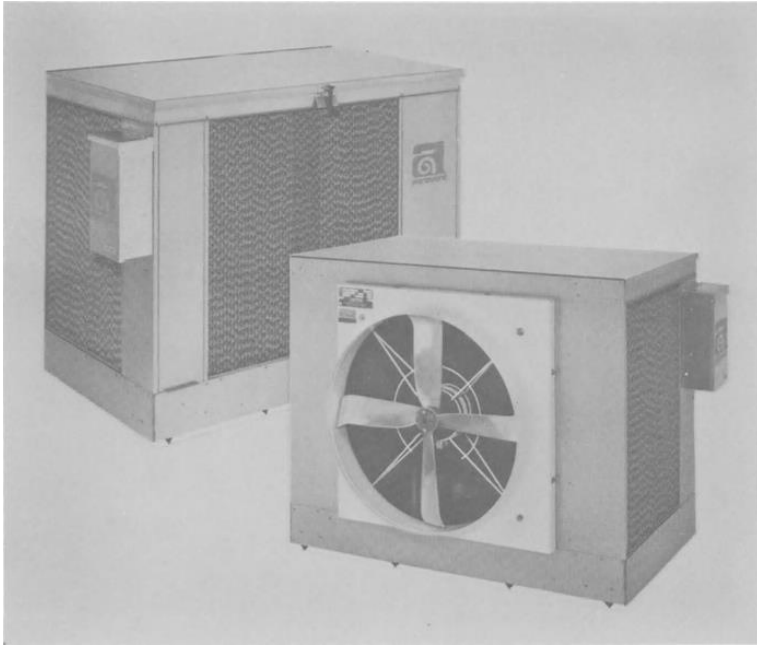
سطح کمتری نیاز دارند. هوا از طریق یک یا چند اگزوز فن غیر متصل مکیده شده و در داخل ساختمان موجب فشار منفی شده و بدین ترتیب هوای شسته شده لازم از آن‌ها هدایت می‌شود. تشت و پمپ به همراه شیر شناور و فیلتر آب می‌توانند همانند شکل فوق، برای یک پانل بوده یا برای چند پانل باشد. در آب و هوای زمستانی شدید پانل‌ها را می‌توان توسط پرده‌ها یا کرکره‌هایی محافظت کرد.

کولرهای با یک پد در عقب و بدنه عایق، برای حفاظت در برابر گرمای بیرون و خورشید، با فن گریز از مرکز و پمپ داخلی رایج‌تر هستند. پدهای با ضخامت ۶ تا ۸ اینچ (۱۵/۲ تا ۲۰/۳ cm) برای سه سال کار می‌کنند.

دو اندازه کولر وجود دارد: $\frac{1}{4}$ hp که بر طبق گزارشات ۳۹۵۰ cfm ($1/7 \text{ m}^3/\text{s}$) را با بازده سرمایش ۷۴ درصد تحویل می‌دهد و $\frac{3}{4}$ hp که در همان بدنه نصب شده و بر طبق گزارشات ۴۸۱۰ cfm (m^3/s) را با بازده سرمایش ۷۰ درصد تحویل می‌دهد. هر دو کولر در مدل‌های تخلیه جانبی و تخلیه فرورود موجود هستند. با سرعت هوای پد ۲۵۰ تا ۳۵۰ fpm ($1/3$) تا $1/8 \text{ m/s}$) بازده سرمایش به ۸۵ درصد می‌رسد.

یک سازنده پیشرو کولرهای آبی، کولر مشابهی با پدهای عقبی به ضخامت ۸ اینچ (۲۰/۳ cm) می‌سازد. محفظه کولر دارای "مدول مرطوبی" در عقب است که شامل پد، تشت، پمپ، شیر شناور و سیستم توزیع آب است و "مدول خشکی" نیز در جلو دارد که شامل موتور، دمنده و بخش‌های برقی است. پدها دارای فیلترهای آلومینیومی توری قابل باز شدنی هستند که به سادگی با استفاده از شیلنگ آب قابل شستشو است.

بر طبق گزارشات این کولرها، هوایی تا ۵ درصد خنک‌تر از کولرهای آبی تحویل داده و تا ۸۵ درصد هزینه کل کولرهای برودتی را نیز صرفه‌جویی می‌کنند. این کولرها در مدل‌های تخلیه جانبی و تخلیه فرورود موجود بوده و مشابه کولرهای برودتی بزرگ پنجره‌ای هستند. برای نصب در پشت بام این کولرها پروفیل کوچکی دارند (به شکل ۷ این فصل مراجعه کنید).



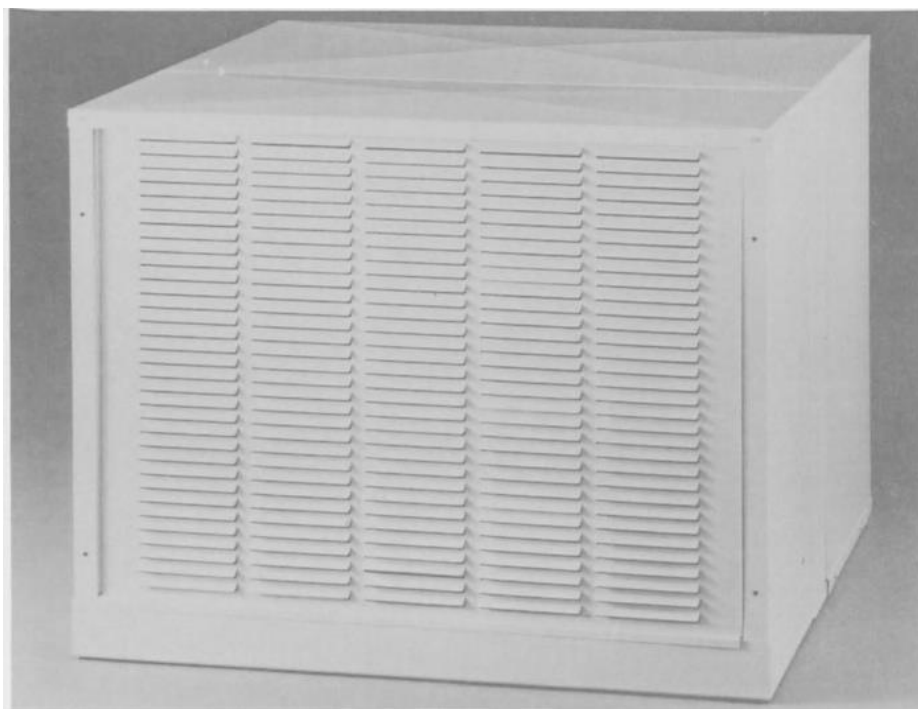
شکل ۶- کولر کابینی دارای سه پد از ماده واسط صلب با نام تجاری Aerovent. مقاومت اندک ماده واسط در برابر جریان موجب سرعت‌های مجاز بالا و ظرفیت‌های جریان فوق‌العاده، با هزینه اندک فن پروانه‌ای می‌شود. البته به دلیل فشار استاتیک اندک فن به نظر استفاده از آن به صورت نصب در پنجره یا دیوار نسبت به استفاده از کانال ترجیح داشته و معمولاً در دامداری‌ها، مرغداری‌ها و گلخانه‌ها استفاده می‌شود.

این سازنده تعدادی از این کولرها را به عنوان مرحله مستقیم کولرهای دو مرحله‌ای مستقیم- غیرمستقیم خود به فروش رسانده‌است (به فصل ۲۱ مراجعه کنید).

بر حسب توان‌های فن‌گریز از مرکز $\frac{1}{4}$ ، $\frac{3}{4}$ و ۱ hp، سه اندازه اسمی وجود دارد که دارای خروجی تایید شده ۳۵۰۰، ۴۰۵۰ و ۴۵۵۰ cfm (۱/۷، ۱/۹ و ۲/۱ m^3/s) طی بازده‌های سرمایش ۸۱، ۸۰ و ۷۹ درصد هستند.

دستگاه‌های بزرگ‌تر در هر فصل ۱۶۲۲ کیلووات ساعت مصرف می‌کنند به طوری که در همین مکان دستگاه‌های برودتی ۷۷۵۸ کیلووات ساعت مصرف داشته و بدین ترتیب ۷۹ درصد در مصرف انرژی صرفه جویی می‌شود. بر طبق گزارشات، باید بازدید سالانه و تعویض پد در هر پنج سال را نیز در نظر گرفت. هزینه نگهداری پایین، موجب جذب کاربران واحدهای صنعتی و اقتصادی می‌شود (به شکل ۸ این فصل مراجعه کنید).

با ابعاد $\frac{1}{4}$ ۳۲ اینچ ارتفاع در ۴۲ اینچ عرض در ۴۳ اینچ ارتفاع (۰/۸۲ در ۱/۰۷ در ۱/۰۹ متر) می‌توان تمامی مدل‌ها را به سادگی در اکثر فضاهای زیر شیروانی، دیوار سه گوش زیر شیروانی و جلوی پنجره‌های دارای کرکره نصب کرد تا اجازه ورود هوا را بدهد. برای سرویس کولر نیز باید فضای کافی در نظر گرفت.



شکل ۷- کولر کابینی با ماده واسط صلب با نام تجاری Arvin Mastercool از نمای سمت ورودی هوا. این کولر دارای "مدول مرطوبی" در عقب است که شامل یک ماده واسط صلب ضخیم به عنوان پد، یک پمپ و یک شیر شناور است که به "مدول خشکی" متصل است که شامل موتور، دمنده و بخش‌های برقی است. همچنین این مجموعه به عنوان مرحله دوم یک کولر ترکیبی دو مرحله‌ای غیر مستقیم-مستقیم با نام تجاری Arvin به کار می‌رود.

یک سازنده دیگر کولرهای مشابهی ساخته که دارای پد تکی واقع در عقب به ضخامت ۱۲ اینچ (۳۰/۵ cm) است. این کولرها به صورت تخلیه فروباد یا جانبی بوده و در چهار اندازه بدنه ساخته می‌شوند که در ظرفیت‌های زیر است:

Cfm	m^3/s	دمنده hp
2060	1.0	$\frac{1}{3}$
3400	1.6	$\frac{1}{3}$
3600	1.7	$\frac{1}{2}$
4000	1.9	$\frac{1}{2}$
4600	2.2	$\frac{3}{4}$
5900	2.8	$\frac{3}{4}$
6300	3.0	1
7400	3.5	$1\frac{1}{2}$
8500	4.0	$1\frac{1}{2}$
9300	4.4	2
10300	4.9	3



شکل ۸- کولر با ماده واسط صلب با نام تجاری Arvin Mastercool نصب شده در اتاق زیر شیروانی. این کولر، هوای تازه را از طریق درب کرکره‌ای روی دیوار سه گوش زیر شیروانی، در سمت راست، دریافت کرده و هوای شسته شده را به کانال سمت چپ تحویل می‌دهد. در حالت نشستی، بدنه کولر درون یک تشت قرار می‌گیرد که به بیرون تخلیه می‌شود. عمر پد چندین سال بوده و سیستم می‌تواند پنهان باشد.

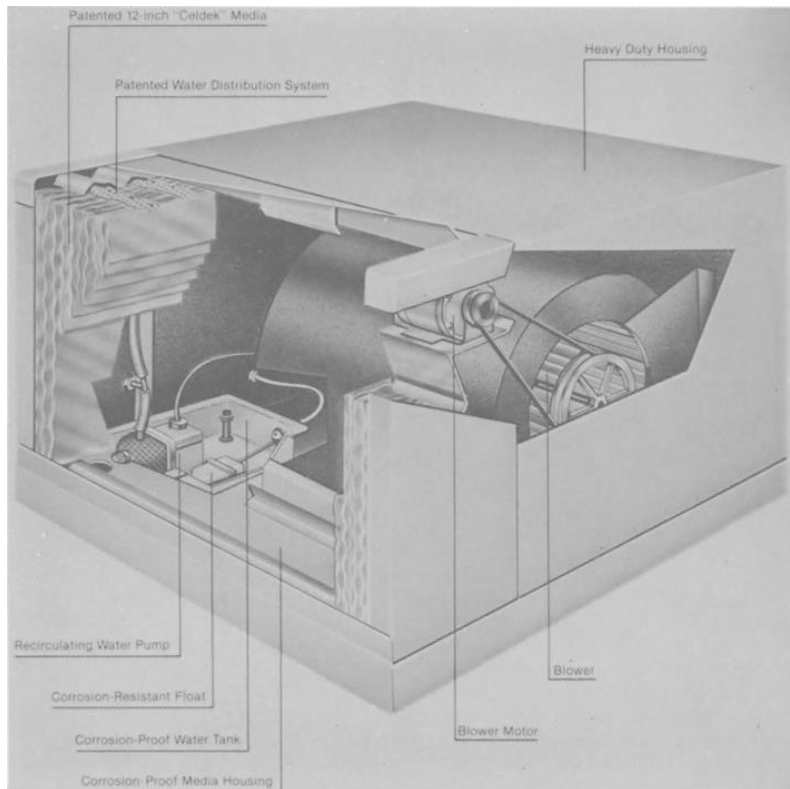
این خروجی‌ها با استفاده از موتورهای دو سرعت $\frac{3}{4}$ hp انجام می‌شود. بدنه کولر از فولاد گالوانیزه روکش دار و تشت و پایه‌های پد از پلاستیک مقاوم ساخته شده‌است. پمپ از نوع غوطه‌ور (مستغرق) بوده که دارای یک کنارگذر برای آب دورریز است. تشت قابل جدا شدن است.

هیچ فیلتر گرد و خاکی وجود نداشته و پدهای ضخیم خود هوا را به خوبی تمیز می‌کنند. این پدها سه سال ضمانت داشته و بازده سرمایش آن‌ها ۹۸ درصد گزارش شده که خیلی خنک‌تر از دستگاه‌های مشابه است (به شکل ۹ مراجعه کنید).

کولرهای با ماده واسط صلب دیگری نیز در معرض تولید و فروش هستند. انتظار بر این است که اندازه‌ها و مدل‌های جدیدی ارائه شود.

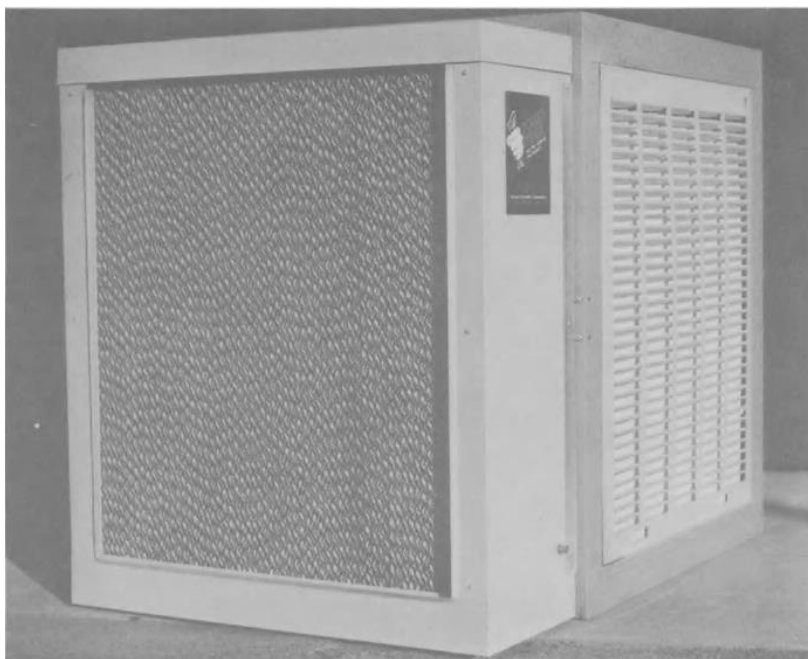
پدهای افزودنی^۱

سازنده‌ای برای نصب و جایگزینی پدهای پوشالی در کولرهای آبی موجود، شش اندازه قاب نگهدارنده پد واسط صلب با ضخامت‌های ۶ تا ۸ اینچ (۱۵/۲ تا ۲۰/۳ cm) تولید می‌کند. بدین ترتیب، در صورت زنگ‌زدگی قاب‌های نگهدارنده، یا به منظور افزایش عملکرد کولر، می‌توان از مدول‌های جدید پد ضخیم استفاده کرد و سیستم توزیع آب آن‌ها را به سیستم موجود گردش آب متصل کرد. قاب‌های نگهدارنده قدیمی باقیمانده را نیز می‌توان محکم و غیر فعال کرد. بر طبق گزارش، این پدهای جدید در مقایسه با قبل از آن بین ۳ تا ۷ deg F (۱/۷ تا ۳/۹ deg C) اتاق را خنک‌تر کرده و سه سال ضمانت دارند. با استفاده از این پدها، عملکرد کولر باید بهتر باشد (به شکل ۱۰ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۹- یک کولر با ماده واسط صلب با تخلیه فروباد با نام تجاری Maxima II. این کولر دارای یک پد ضخیم صلب به ضخامت ۱۲ اینچ (۳۰/۵ cm) با سه سال ضمانت است. با داشتن یازده سرمایه‌ش ۹۲ درصدی و سرعت ورودی دو تا سه برابر هوا در مقایسه با پدهای پوشالی، هر پد صلب معادل با چهار پد پوشالی است. برای مقاومت در برابر خوردگی، تمام بخش‌های مرطوب، شامل تشت آب، از جنس پلاستیک هستند.

مدول‌های با پد تکی، به منظور نصب در دستگاه‌های مرکزی تهویه مطبوع برودتی، تا ظرفیت ۵ تن (۶۳/۳ kJ/hr) تولید می‌شوند. این مدول‌ها به عنوان "صرفه‌جو" بوده و موجب می‌شوند تا در هنگامی که شرایط بیرون اجازه سرمایه‌ش برودتی را نمی‌دهند، فن‌های موجود، از طریق کانال‌های عادی، هوای تازه یا هوای خنک شده به طریق تبخیری را ارسال کنند. این کار موجب پیشگیری از سایش کمپرسور و صرفه‌جویی سالانه ۴۰ درصد در مصرف برق می‌شود. البته برای کسب این موفقیت باید فن و کانال به اندازه کافی بزرگ باشند زیرا هوای شسته شده در مقایسه با هوای تحت فرآیند برودتی حجم بیشتری دارد (به فصل ۱۰ مراجعه کنید).



شکل ۱۰- یک کولر آبی با ماده واسط صلب جایگزین پدهای پوشالی. پد واسط صلب، جایگزین یک قاب نگهدارنده پد شده و بقیه پدها از پشت مسدود می‌شوند. پد جایگزین معادل چهار پد پوشالی برای ظرفیت سرمایش مشابه است و اغلب گرد و خاک را فیلتر کرده و عمری دو تا پنج برابر طولانی‌تر دارد.

مدول‌های فوق شبیه تجهیزاتی هستند که برای پیش‌سرمایش هوا در کندانسور سیستم‌های برودتی استفاده می‌شوند. این موضوع در فصل ۱۹ بررسی می‌شود.

کولرهای جریان مخالف عمودی

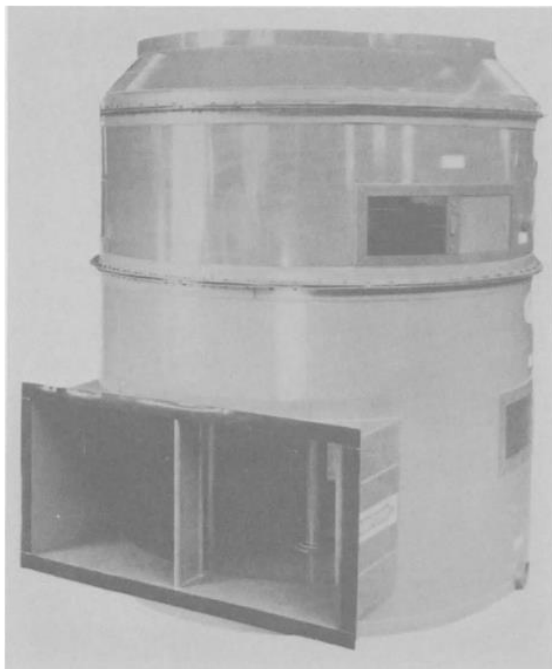
بسیاری از واحدهای صنعتی از کولرهای کاملاً متفاوتی بهره می‌گیرند. این کولرها به صورت استوانه‌های^۱ عمودی به قطر حداقل ۶ فوت (۱/۸۳ m) بوده و احتمالاً از این قطر ۲۵ درصد بلندتر بوده و از PVC یا دیگر پلاستیک‌های صلب و مقاوم در برابر خوردگی ساخته شده و دارای خروجی cfm ۶۰,۰۰۰ (m^3/s ۲۸/۳) است. اغلب این دستگاه‌ها به عنوان "تصفیه کننده"^۲ بوده و از آب برای حل کردن مواد شیمیایی و آلاینده‌های هوا یا گازهای واحدهای شیمیایی، پالایشگاهی، صنایع فرآیندی،

1- Drum
2- Scrubber

ذوب فلزات و غیره استفاده می‌کنند. شرکت‌هایی که غبار یا دود ارزشمند یا خطرناک تولید می‌کنند می‌توانند بین ۹۰ تا ۹۹ درصد آن را بدین طریق به دام ببندازند.

در داخل ارتفاع میانی، طبقات افقی از ماده واسط صلب قرار دارند که به منظور جریان رو به بالا جهت داده شده و توسط پاشش آب از بالا خیس نگه داشته می‌شوند. بالای محفظه به منظور اتصال به فن پروانه‌ای، یا کانال‌های هوارسانی عمودی گرد، به صورت مخروطی ساخته می‌شود. در یک سمت از پایین ماده واسط، ورودی‌های فلنج‌دار بزرگی برای هوا وجود داشته و در زیر آن‌ها نیز تشت (حوضچه) کم عمق و پهناوری قرار دارد.

در هنگام کار، هوا از پایین جریان داشته و از طریق ماده واسط ضخیم، بر خلاف جریان آب و قطرات آن، به بالا حرکت می‌کند. با تحویل هوای شسته شده رو به بالا، عمل تمیزکاری و اشباع به صورت عالی انجام می‌شود. آب جمع شده در پایین معمولاً مجدداً توسط پمپ‌های خارجی گردش یافته و در عین حال توسط شیرهای شناور و مجاری آب دورریز کنترل می‌شوند (به شکل ۱۱ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۱۰- یک تصفیه کننده هوای پلاستیکی با ماده واسط صلب که یک کولر تبخیری رو به بالا یا یک برج خنک‌کن است. این دستگاه از پلاستیک مقاوم در برابر مواد شیمیایی ساخته شده و دارای تشت آب، شیر شناور و اتصال مکش پمپ در پایین خود است. در ارتفاع میانی یک لایه ضخیم از ماده واسط صلب خاص برج خنک‌کن بین دیواره‌ها قرار داشته که

توسط شیپوره‌های آب‌پاش فوقانی خیس نگه داشته می‌شود. در طی کار، هوا به درون یک دهانه فلنچ‌دار بزرگ، در سمت چپ-پایین، دمیده یا مکیده شده و با آب در حال سقوط جریان مخالفی را ایجاد می‌کند. با برگشت آب به درون تشت، این هوا تقریباً اشباع می‌شود.

همچون تصفیه‌کننده‌های صنعتی، این دستگاه‌ها در معرض گازها و بخارات فرآیندی بوده به طوری که آب یا سایر حلال‌های شیمیایی قادر به جذب اجزای ارزشمند یا مهلک آن هستند. همچون کولرهای تبخیری یا برج‌های خنک‌کن، این دستگاه می‌تواند طی هد پمپ اندک و با عمر طولانی، سطح تماس نامساوی آب و هوا را در هم ادغام کند.

هر چند این دستگاه برای سرمایه‌ش به منظور آسایش ساخته نشده ولی می‌تواند این کار را نیز انجام دهد. بر طبق گزارشات، در برخی از انواع آن، با پاشش آب داغ برای گرمایش زمستانی استفاده شده‌است.

در خاتمه، لازم به ذکر است که نوع با مارک تجاری Munters نزدیک‌ترین میزان را به عملکرد بالای پدهای سرمایه‌ش دائمی دارد. با این اوصاف کاربرد و اهمیت این کولر دیگر قابل ارتقا نیست.

پرسش‌های دوره‌ای

۱. علیرغم تغییر جهت مکرر و سرعت جریان بالا، هوایی که از میان پدهای صلب عبور می‌کند در مقایسه با پدهای نازک‌تر پوشالی افت فشار کمتری دارد. شرح دهید چرا.
۲. چگونه پدهای با ماده واسط صلب قادر به حذف گرد و خاک، گرده گیاهان و غیره از هوا هستند؟ چگونه آن‌ها می‌توانند مانع از دمیده شدن آب شوند؟
۳. کدام دو عامل بر روی درصد ضریب تاثیر سرمایه‌ش بیشترین تاثیر را دارند؟ چه موقع کولرهای تبخیری می‌توانند پدهای خود را در معرض آب $F 120$ (C 48/9) قرار دهند؟
۴. مزایای هواسازهای نوع افشانه‌ای نسبت به کولرهای با ماده واسط صلب را شرح دهید.
۵. علیرغم بهبودهای صورت گرفته، در چه وضعیتی کولرهای با ماده واسط صلب همواره برتر از هواسازها هستند؟
۶. چرا باید ماده پد، در سرمایه‌ش تبخیری بهتر از برج خنک‌کن عمل کند؟ چرا باید کولرهای با ماده واسط صلب دارای هزینه برق نسبتاً پایینی باشند؟
۷. در طی هوای خروجی ثابت، چگونه ضریب تاثیر اشباع بهبود می‌یابد؟ چگونه می‌توان آن را بدون خطر تشکیل رسوب پوسته‌ای کاهش داد؟
۸. مواد واسط سلولزی و الیاف شیشه‌ای را از نظر عملکرد، عمر و غیره مقایسه کنید.
۹. چرا باید کولرهای پانلی نوع آگزوزی را در ساختمان‌های صنعتی استفاده کرد که در حال حاضر از طریق هوارسانی (تجدید هوا) خنک می‌شوند؟ در مورد گلخانه‌ها چرا؟
۱۰. در کولرهای کوچک با پد صلب به اندازه کولر آبی، چرا یک پد کافی است؟ با استفاده از فن مشابه، تاثیر استفاده از سه پد به جای یکی چیست؟
۱۱. در صورت لزوم، چه ویژگی کولرهای با ماده واسط صلب آن‌ها را برای استفاده از فیلتر گرد و خاک مناسب می‌سازد؟ چقدر ممکن است که آن‌ها به فیلتر نیاز داشته باشند؟
۱۲. کاربرد پدهای صلب افزودنی در کولرهای آبی موجود را شرح دهید. در سیستم‌های تهویه مطبوع برودت می‌هم شرح دهید. در حالت دوم چه عواملی می‌توانند به شدت عملکرد را تحت تاثیر قرار دهند؟
۱۳. چه نوعی از ماشین با ماده واسط صلب بیشتر به جای سرمایه‌ش برای تمیزسازی هوا استفاده می‌شود؟ آن را شرح دهید. در کنار آلاینده‌های هوا، چه چیز دیگری می‌تواند توسط این تصفیه‌کنندگان هوا به دام بیافتند؟

فصل ۱۳

سرمایش واحدهای صنعتی

بزرگترین بازار دستگاه‌های بزرگ سرمایش تبخیری، هزاران واحد صنعتی، پالایشگاه‌ها، کنسروسازی-ها، واحدهای فرآیندی، نورد فلزات، جوشکاری‌ها، کارگاه‌ها، ریخته‌گری‌ها، رختشویخانه‌ها، گاراژها، ادارات، آشپزخانه‌های صنعتی و غیره هستند. با وجود روش‌های سرمایش مقرون به صرفه، گاه این دستگاه‌ها در تابستان کم تاثیر باقی می‌مانند.

نظامات صنعتی

روند تاریخی آمریکا نشانگر افزایش پایدار قابلیت تولید انسان است. در گذشته، مکانیزاسیون، تخصص، ساده‌سازی امور و پاداش موجب افزایش خروجی انسان‌ها بود. اتوماسیون کامپیوتری موجب بهبود بیشتری شده ولی مستلزم سرمایه‌گذاری زیاد و از رده خارج کردن تجهیزات موجود است. همچنین این روش انعطاف‌ناپذیر بوده و تنها وقتی مناسب است که یک بازار بزرگ و تثبیت شده وجود داشته باشد. تغییرات در طراحی و نوسانات بازار تقاضا می‌تواند موجب پیشگیری از اتوماسیون شود.

نیروی کار انسانی را نمی‌توان از رده خارج کرد. افزایش تنوع و پیچیدگی صنعت و تجارت موجب تضمین نیروی کار انسانی برای پیشبرد تولید است. بسیاری از قابلیت‌های تولید فعلی و آتی ناشی از نیروی کار است.

مطالعات و مکانیزاسیون در هر زمان، موجب افزایش تولید یک نفر، ماشین یا فرآیند می‌شود؛ ولی نصب تجهیزات سرمایشی تابستانی می‌تواند بلافاصله با تاثیر بر روی کل ساکنین یک ساختمان موجب

افزایش تولید در کل آن ساختمان شود. این کار موجب عدم استفاده از تجهیزات و جابجایی کارگران نشده و افزایش دستمزد را به همراه ندارد. در عوض، این کار موجب آسایش کارکنان و آرامش جسمی و روانی آنان می‌گردد. این کار موجب کاهش خستگی و هزینه کارگر شده و خروجی را افزایش می‌دهد.

هزینه‌های واقعی سرمایه‌ش در صنعت

سی سال پیش یک صنعتگر نشان داد که هر چند قیمت اولیه سرمایه‌ش برودتی اغلب زیاد است ولی تنها اندکی به هزینه کارکرد یا هزینه تولید واحد صنعتی می‌افزاید. در صورت در نظرگیری یک عمر ۲۰ ساله، میانگین هزینه خرید و استفاده از سیستم‌های سرمایه‌ش، شامل بهره، بیمه، مالیات، استهلاک، نگهداری و مصرف برق، هزینه کارکرد سالانه کل یک کارخانه را در حالت ساختمان‌های جدید تنها حدود یک درصد و در حالت ساختمان‌های غیرجدید اندکی بیشتر افزایش می‌دهد.

در هر حال، استفاده از سیستم سرمایه‌ش موجب افزایش ۱/۵ درصدی بازده کارگر می‌شود که در مقابل آن صرف هزینه‌های نصب و کارکرد می‌شود. به ویژه، در صورت پرداخت بیشتر به کارگر، میزان بهره‌وری نسبی کاهش می‌یابد. جالب است که برای سایر ساختمان‌ها نیز نسبت‌های مشابهی وجود دارد: ساختمان‌های اداری ۱/۴ درصد، مدارس ۲/۳ درصد، بیمارستان‌ها ۳/۱ درصد و در فروشگاه‌های خرده‌فروشی ۴/۵ درصد.

در سال‌های اخیر شرکت کریر فرم‌های تحلیلی شش صفحه‌ای ابداع کرده تا به مدیران صنعتی کمک کند که تهویه مطبوع چگونه و در کجای واحد صنعتی موجب بهبود قابلیت تولید کارگران شده و سودآوری بیشتر می‌شود.

در این سوالات معمولاً موارد زیر مورد پرسش قرار می‌گیرد:

۱. آیا سطح واحد صنعتی دارای چگالی یک یا چند کارگر به ازای هر ۳۰۰ فوت مربع (m^2) (۲۷/۹) است؟
۲. آیا گردش مالی کارگر در این واحد در طول سال ۱۵ درصد یا بیشتر است؟
۳. آیا حقوق و مزایای سالانه به ازای هر فوت مربع مساحت کف حداقل ۲۵ دلار است (حداقل ۲۶۹ دلار به ازای هر متر مربع)؟ (امروزه این میزان بالاتر است).
۴. آیا هزینه کارگر حداقل ۲۵ درصد هزینه تولید است؟

اگر پاسخ حداقل دو سوال مثبت است، احتمالاً این تحلیل توجیه دارد. این تحلیل در ابتدا تعیین خواهد کرد که این داده‌ها چه بخشی از هزینه‌های کارکرد سالانه بوده و هزینه‌های مواردی چون:

هزینه کارگر ساعتی، کارگر پیمانی، مزایای کارکنان، هزینه سربرار تولید، مواد و قطعات، هزینه باربری، فروش و امور اداری و سایر عوامل را بر حسب درصد مشخص می‌کند.

سپس سود حاصل از سرمایه کارکنان بر حسب درصد زمانی صرفه جویی شده در اثر کاهش مواردی چون: خستگی، اتلاف زمانی مربوط به آسایش، غیبت، تغییر کارگر، برگشت تولید، اتلاف کارگر به دلیل برگشت [تولید]، هزینه‌های خانه‌داری، هزینه‌های بخش پرسنلی به انضمام افزایش روحیه و کیفی کارگر تخمین زده می‌شود.

از روی این تخمین‌ها، صرفه‌جویی سالانه حاصل از سرمایه را می‌توان با هزینه سالانه تملک و کارکرد سیستم مورد نیاز مقایسه کرد. دوره‌های زمانی پرداخت و درصد بازگشت سرمایه را نیز می‌توان محاسبه و تصمیم‌گیری کرد.

در این تحلیل، ساختمان‌ها دارای ساخت خوب و سرمایه برودتی با هزینه اولیه بین ۳۰۰ تا ۱۲۰۰ دلار به ازای هر کارگر فرض می‌شد. حداکثر سرمایه‌گذاری قابل توجیه احتمالاً از ۲۵ درصد پرداخت سالانه ناخالص کارگران بیشتر نمی‌شود.

مطالعه ۱۹ کارخانه نشان می‌دهد که عایدی برگشتی بین ۲۰ تا ۱۰۰ درصد سرمایه‌گذاری سال اول می‌شود. در یک مطالعه دیگر مشاهده شد که بازده کارگران ۲۵ درصد افزایش می‌یابد و کاهش غیبت و تغییر و تحول کارگران به ترتیب ۳۰ و ۴۰ درصد برآورد شد.^۱

در گزارشات دیگر ذکر شده که با استفاده از سرمایه تابستانی، بازده کارکنان اداری ۲۰ تا ۵۰ درصد و کارگران کارخانه ۲۲ تا ۲۸ درصد بهبود می‌یابد. در هر دو گروه غیبت‌های تابستانی ۲۷ تا ۳۰ درصد و میزان تغییر و تحول در کارگران ۴۰ درصد کاهش یافت. اشتباهات و جراحات نیز کاهش یافت.

در یک مطالعه توسط NASA^۲ نشان داده شد که تاثیر عدم آسایش بر روی قابلیت تولید کارگر و دقت کار مطابق زیر است:

1- Stamper and Koral, *Handbook of Air Conditioning, Heating, and Ventilating*, The Industrial Press, New York City, 1979, pages 10; 38- 44.

2- Joseph Marg, "Comfort Conditioning the Plant with Evaporative Cooling," *Plant Engineering*, July 8, 1976, Pg. 72.

دمای موثر (درجه ET)		خروجی تلف شده نسبت به مبنای F ۷۲ (C ۲۲/۲)	دقت تلف شده نسبت به مبنای F ۸۰ (C ۲۶/۷)
F	C	%	%
۸۰	۲۶/۷	۸	۰
۸۵	۲۹/۴	۱۸	۵
۹۰	۳۲/۲	۲۹	۴۰
۹۵	۳۵/۰	۴۵	۳۰۰
۱۰۰	۳۷/۸	۶۲	۷۰۰

تمامی اعداد فوق کلی بوده ولی مبنای اقتصادی آن قطعی است. از آنجا که هزینه‌های کلی کارگر، شامل بیمه تامین اجتماعی، کسورات بازنشستگی و سنوات همواره با نسبتی بیشتر از هزینه تولید افزایش می‌یابند میزان عایدی ناشی از تولید در ساختمان‌های مربوط، معمولاً هزینه‌های برخی از انواع سرمایه‌های صنعتی را تحت پوشش قرار می‌دهد. البته سرمایه‌های معمولاً موجب حفاظت از ابنیه و تجهیزات، مصون نگهداشتن مواد، کاهش هزینه‌های تمیزکاری و نگهداری و بهبود برخی محصولات و فرآیندها می‌شود.

از آنجا که تجهیزات سرمایه‌های تبخیری ارزان‌تر از سرمایه‌های برودتی هستند و توان کمتری نیز مصرف می‌کنند برای توجیه نصب آن‌ها احتمالاً قابلیت تولید کارگران تنها باید یک درصد بهبود یابد.

فرصت سرمایه‌های

اگر چه بسیاری از ادارات، آزمایشگاه‌ها و واحدهای نساجی از گذشته تهویه مطبوع می‌شدند ولی به دنبال جنگ جهانی دوم و توسعه صنایع هوایی، تسلیحاتی و الکترونیک مزایای استفاده از سرمایه‌های برای تمامی کارخانجات مسجل شد.

استفاده از سرمایه‌های در وهله اول برای حفاظت ماشین‌آلات ظریف با فناوری بالا و محصولات و پس از آن بهبود شرایط استخدامی، روحیه و قابلیت تولید کارگر و همچنین کاهش برخوردها، غیبت و جایجایی کارگران است که در نتیجه اکثر واحدهای صنعتی با اشتیاق از آن استفاده می‌کنند. امروزه کارخانجات، آسیاب‌ها، نیروگاه‌ها و مکان‌های صنعتی که از تهویه مطبوع استفاده می‌کنند فراوان هستند. بسیاری از آن‌ها از سرمایه‌های تبخیری بهره می‌گیرند.

سایر واحدهای صنعتی که از تهویه مطبوع استفاده نمی‌کنند دارای مشکلات عمده‌ای هستند. بسیاری از آن‌ها دارای پشت بام‌های وسیع، مسطح و تیره‌ای هستند که چندان عایق نیستند. برخی دارای شیب کم و از ورق فولاد موج‌داری هستند که رسانای حرارتی خوبی محسوب می‌شود. سایر سقف‌ها به صورت دندان‌اره‌ای بوده که پنجره‌هایی در بالا داشته که برای نورگیری بهتر رو به شمال قرار دارند. این کار موجب حداکثرسازی جذب گرمای خورشیدی و بازتابش آن به کارگران در این سقف‌های شیب دار می‌شود. بخش غیر عایق و تیره این سقف‌ها بهتر از پنجره‌ها، گرمای خورشید را جذب می‌کند.

اغلب واحدهای صنعتی دارای پنجره‌های بزرگی هستند تا نور خورشید را در زمستان و هوا را در تابستان دریافت کنند. بدین ترتیب بسیاری از واحدهای صنعتی پر نور ساخته می‌شوند تا مانع از گرمای تابستان شوند.

به دلیل این که در فرایندها گرما تولید شده یا به تجدید هوای بیشتری نیاز است، سرمایه‌های صنعتی بسیار پیچیده‌تر است. هر اسب بخار توان مصرفی 2544 Btu/h (2684 J/hr) حرارت آزاد می‌کند. کوره‌ها، خشک‌کن‌ها، اجاق‌های پخت، دستگاه‌های برقی، چراغ‌ها، ماشین‌آلات تولیدی و تمام فرآیندهای گرمایی یا رطوبی گرمای بیشتری اضافه کرده که در برخی واحدهای با تولید بالا به 150 در هر فوت مربع (147 J/hr/m^2) می‌رسد. در بسیاری از واحدهای نساجی، لاستیک‌سازی، شیشه‌گری، متالورژی، غذایی، شست و شو، فرآیندی، تولید توان و شیمیایی، بار گرمایی داخلی ناشی از کارگران پرتلاش می‌تواند قابل ملاحظه باشد.

آلاینده‌های داخلی واحد می‌تواند مشکلات سرمایه‌های را افزایش دهد. در صنایع شیمیایی، صابون‌سازی، آهک‌پزی، کاغذسازی، سیمان، چاپخانه‌ها و تصویرگری‌های بزرگ، کارگاه‌های آهنگری، آبکاری و جوشکاری و در ذوب فلزات، پالایشگاه‌ها و ریخته‌گری‌ها میزان گرد و خاک، بخارات، غبار یا بو از طریق تخلیه حجم عظیمی از هوا کنترل می‌شود. حجم‌های هوای تازه‌ای که لازم است جایگزین قبلی‌ها شوند اغلب بسیار بزرگ بوده و در نتیجه سرمایه‌های برودتی، حتی اگر غیر ممکن نباشد، بسیار غیر عملی است.

به علاوه، از آنجا که سیستم‌های تهویه مطبوع سنتی در ساختمان‌های اداری، هتل‌ها، آپارتمان‌ها، بیمارستان‌ها، متل‌ها، مدارس، منازل و غیره هوای سرمایه‌های را از طریق کانال به اتاق‌های متعدد گردش می‌دهند، اغلب واحدهای صنعتی دارای مناطق بزرگ، باز و متصلی هستند که کل عرصه را به مثابه یک اتاق واحد نشان می‌دهد. این مناطق را می‌توان در قالب یک فضای بزرگی در نظر گرفت که به سرمایه‌های و تجدید هواهای متفاوتی نیاز دارند. اغلب فرآیندهای داغ یا مضر بین بخش‌های کاری بی

دفاعی توزیع می‌شوند که به دلیل مجاورت در معرض گرما، تابش خیره کننده، دود، غبار یا سر و صدا قرار می‌گیرند. بنابراین انجام سرمایه‌ش صنعتی قابل قبول با یک هزینه معقول چندان آسان نیست.

سرمایش کارخانه به روش برودتی

آماده‌سازی اغلب واحدهای صنعتی برای سرمایش برودتی مستلزم توجه دقیق و سرمایه‌گذاری فراوان است. هر $10,000 \text{ Btuh}$ ($10/55 \text{ kJ/hr}$) که از بیرون وارد می‌شود مستلزم حداقل $1/1$ تا $1/4 \text{ kWh}$ دفع است که با هزینه بیش از ۱۰ سنت است و در کنار آن عایق‌کاری خوب و درزبندی و محافظت در برابر تابش آفتاب نیز ضروری است.

برای تمام سقف‌ها چندین اینچ عایق لازم است. در صورت وجود خرپا در زیر، عایق را می‌توان در بالا اضافه کرده و آن را با عایق اضافی به همراه رنگ بازتابنده سفید یا نقره‌ای پوشاند. سپس می‌توان افشانه‌های آب خودکاری را نصب کرد تا گرمای خورشیدی برخورد شده را دفع کند. زیر پشت بام و خرپاها باید سفید یا نقره‌ای رنگ شده تا تابش دریافتی از خوردش و همچنین جذب نور داخلی را حداقل کند مگر این که امکان بازتابش حرارت تولیدی داخلی به روی افراد وجود داشته باشد.

بخش بزرگی از پنجره‌ها را می‌توان حذف کرده یا در برابر نفوذ هوا درزبندی نمود. پنجره‌های باقیمانده‌ای که در معرض تابش خورشید هستند باید با استفاده از تاق نما، قرنیز، کرکره‌های بیرونی یا پرده در معرض سایه قرار گیرند. حداقل دیوارهای خارجی که گرمای خورشید را دریافت می‌کنند باید عایق شده و تمام دیوارهای خارجی به رنگ سفید درآیند.

درها و مناطق بارگیری که باز می‌مانند باید برای سهولت بسته شدن بازسازی شده یا به صورت مضاعف هوابندی شوند تا اتلاف هوای سرد را حداقل کنند. برخی سکوها یا بارگیری باید طوری محصور شوند که کامیون‌ها یا حتی واگن‌های قطار را بتوان در پشت در بارگیری یا بارگذاری کرد.

برای کنترل گرما، رطوبت، بخارات و گرد و خاکی که در داخل تولید می‌شود لازم است تلاش‌های قابل ملاحظه‌ای صورت بگیرد که این کار با عایق‌کاری تمام ماشین‌آلات، تجهیزات و لوله‌های داغ، جداسازی یا استقرار هودهای روی فرآیندهای داغ و استفاده از اگزوز فن و گاه استفاده از هوای جبرانی، محصور کردن جاهای داغ، موتورها، الکتروموتورها و غیره در داخل کابین‌های آلومینیومی بازتابنده تهویه شده جهت محدود سازی گرمای تابش و فراهم‌سازی هوای جبرانی فوق خنک برای جایگزین‌سازی هوای خروجی یا تهویه شده آغاز می‌شود. موتورهای محرک ماشین‌آلات بر طبق توان مندرج در پلاک خود موجب گرمایش اتاق می‌شوند. حرارت دریافتی از گازهای سوزان، عبارت از

مقدار گرمای موجود در آن‌ها ضرب در ساعات استفاده است که در اثر تهویه و هوادهی به همراه استفاده از هود تا ۵۰ درصد و در صورت استفاده صرف از هود بین ۱۰ تا ۴۰ درصد کاهش می‌یابد.

از آنجا که تبرید باعث دفع رطوبت و بخار به روش گران قیمت چگالش می‌شود که مقدار آن Btu ۱۰۵۰ به ازای هر پوند (kJ ۲/۳۴ به ازای هر لیتر) آب می‌رسد، به روش‌های دیگری برای دفع بخارات نیاز است. بخار آب می‌تواند توسط دسیکانت‌ها جذب شود (به فصل ۲۳ مراجعه کنید). اما پس از آن لازم است که برای بازیابی دسیکانت‌ها به گرمای ارزان و هوای خنک دسترسی داشت. بنابراین اغلب کارخانجات باید مقدار منابع بخار را محدود کرده یا هودها و آگزوزفن‌های مربوط را نصب کنند.

تبرید اصلاً نمی‌تواند گرد و خاک‌های و گرده‌های هوا برد را دفع کند. در واقع این امر می‌تواند واحدهای سرمایه‌شی که دارای فیلتر نیستند را از طریق گرفتگی کندانسور، کویل‌های سرمایه‌شی یا کنترل‌ها مختل سازد.

اگر چه سیستم‌های آگزوز قادر به دفع تقریباً هر میزان از اغلب ذرات هوا برد هستند ولی دو هزینه را ایجاد می‌کنند: مصرف توان آن‌ها و توان لازم برای سرمایه‌شی هوای تازه جبرانی برای جابجایی هوای خروجی حاوی آلاینده‌ها. هزینه مربوط به مورد دوم را می‌توان با تخلیه هوای خنک از میان مبدل‌های حرارتی بزرگ (به فصول ۲۱ و ۲۲ مراجعه کنید) که بیشتر گرمای محسوس را به هوای تازه ورودی می‌دهند (و در زمستان به طور مشابه هوای جبرانی را پیش گرم می‌کنند). به حداقل رساندن اغلب آن‌ها قادر به رطوبت زدایی از هوا نبوده در نتیجه هوای تعویضی به صورت اجتناب ناپذیر مقداری گرمای نهان به سیستم تبرید اضافه می‌کند. اگر هوای جبرانی ناکافی باشد، نفوذ هوای داغ بیرون افزایش یافته و در نتیجه بار سرمایه‌شی نیز بیشتر می‌شود.

بنا بر سابقه، در صنعت برای دفع مقدار کمی آلایندهی باید حجم عظیمی از هوای داخل تخلیه شود. تکنیک‌های اصلاح شده‌ای که وجود داشتند مورد استفاده قرار نمی‌گرفتند. در نتیجه امروزه هزینه خنک‌سازی هوای جبرانی بالا است.

امروزه اصل "آبشار"^۱ نوید صرفه جویی بزرگی را پس از صرف هزینه بالا برای نصب تجهیزات جدید می‌دهد. فیلترسازی کارآمد هوای برگشتی به علاوه جداسازی الکترواستاتیک و جذب گازهای مورد نظر قادر است تا عناصر زیان‌آور را حذف کرده تا بازسرمایش جزئی موجب شود تا اغلب هوا دو یا سه بار مورد استفاده مجدد قرار گیرد.

ممکن است لازم باشد تا نورپردازی صنعتی، حتی وقتی اثر آن با رنگ‌های روشن فضای داخلی تقویت می‌شود، بیشتر شده تا جبران پنجره‌های پر سایه بشود در نتیجه بار سرمایه‌شی افزوده می‌شود. به

منظور اجتناب از افزایش عظیم میزان بار باید لامپ‌های رشته‌ای قدیمی را نزدیکتر به سطح کاری نصب کرد یا از بازتابنده‌های بهتری استفاده کرد یا آن‌ها را با انواع کارآمدتر تعویض کرد. در حالت کلی، هر وات لامپ Btuh $3/41$ (J/hr $3/6$) آزاد می‌کند.

به علاوه این بار گرمایی و معیارهای کنترل آلاینده‌گی در سرمایه‌گذاری تجهیزات سرمایشی، برج‌های خنک‌کن، مبردها و غیره معادل هم هستند. احتمالاً هر دلار صرف شده برای سرمایه‌گذاری در مورد اول موجب یک یا چند دلار صرفه جویی روی مورد دوم می‌شود. متأسفانه، و بر خلاف سرمایش تبخیری، اغلب این سیستم‌ها باید متمرکز (مرکزی) بوده و در نتیجه به جز تجهیزات اصلی، آن‌ها مستلزم هزینه‌های بالایی برای کانال، لوله‌کشی، تجهیزات هوارسانی، و سیم‌کشی هستند.

خلاصه این که سرمایش برودتی در اغلب کارخانجات مستلزم سرمایه‌گذاری هنگفتی است. این امر موجب رد کردن این اصل نمی‌شود که سرمایش موجب افزایش قابلیت تولید شده و ارزش هزینه خود را دارد. البته این مسئله موجب می‌شود که استفاده اقتصادی از تهویه مطبوع محدود به کارخانجات منتخبی بشود که دارای معماری و ساخت مطلوب بوده و تعداد زیادی از کارگران تولید به صورت گروه‌بندی در نزدیک هم مستقر هستند. تنها قابلیت تولید این کارگران است که موجب سرمایه‌گذاری برای این روش سرمایشی می‌شود.

طول فصل سرمایش نیز طبعاً مهم است. وقتی این فصل کوتاه است، توجیه هزینه اولیه مشکل است. تعطیلات تابستانی می‌تواند ارزان‌تر تمام شود به شرطی که موجودی کفاف تقاضا را بدهد. خلاصه این که اغلب صنایع می‌توانند تنها بخش‌های مدیریت، تحقیق و برخی بخش‌های کلیدی دیگر را به صورت برودتی خنک کنند.

شرایط زیر می‌تواند استفاده از سرمایش برودتی را دشوار یا غیر ممکن سازد:

۱. ساختمان‌های کهنه، موقت یا اجاره‌ای
۲. ساختمان‌های از نوع باز
۳. گروهی از ساختمان‌های کوچک و پراکنده
۴. تابستان‌های کوتاه ولی شدید
۵. بالا بودن هزینه یا کمبود برق
۶. کوره‌ها یا فرآیندهای داغ داخلی
۷. فرآیندها مرطوب یا آزاد کننده بخار
۸. فرآیندهای مولد دود و غبار

۹. نیروی کار تنبل تابستانی
۱۰. تغییر سریع در محصولات و بازار
۱۱. داشتن شعبه‌های کارخانه با تولید زیاد در نواحی خنک‌تر
۱۲. تعداد اشتغال اندک به ازای واحد سطح

بدین ترتیب بازارهای بزرگی برای سیستم‌های سرمایش غیر برودتی باقی می‌ماند که نه به کنترل مقدار زیادی بار نیاز دارد و نه به سرمایه‌گذاری واحد سرمایش که در بالا بدان اشاره شد. برای ایجاد رابطه استخدامی خوب، هر شرکتی که دارای سرمایش برودتی در برخی بخش‌های خود است باید قبل از درخواست کارکنان، برای سایر بخش‌های خود سرمایش تبخیری در نظر بگیرد.

سرمایش به طریق هوارسانی

بسیاری کارخانجات هنوز توسط سیستم ساده هوارسانی خنک می‌شوند. هوای بیرون از طریق چند پنجره یا در باز از جهات مختلف وارد می‌شود. علاوه بر هوارسانی عرضی توسط باد، هوای گرم ناشی از عملیات و تجهیزات از طریق پنجره‌های کاملاً باز موجود در نورگیر یا بام دندان‌اره‌ای یا توسط فن‌های هواکش فوقانی خارج می‌شود. هودهای دارای اگزوزفن در بالای مناطق کاری گرم، دارای بخار یا پر گرد و غبار به این مسئله کمک می‌کنند. هوای ورودی به صورت نامنظم در فضاهایی که افراد حضور دارند گردش کرده و با جذب گرما آن را به بالا و بیرون انتقال می‌دهد.

میزان هوارسانی توسط جریان هوا به شدت با نیاز تغییر می‌کند. برای دفع ساده حرارت، اگر هوا از ورود تا خروج بتواند 20 deg F ($1 \frac{1}{1} \text{ deg C}$) دریافت کند مقدار هوا عبارت است از:

$$cfm = \frac{Btuh}{1.08(20 \text{ deg})} \quad \text{یا} \quad \frac{m^3}{min} = \frac{J/hr}{(2.05)(11.1 \text{ deg})}$$

به طوری که $1/0.8$ و $2/0.5$ ضرایب ثابتی هستند که به صورت ترکیبی گرمای ویژه و حجم ویژه (مخصوصاً) و زمان را در بر می‌گیرند. این جریان‌های هوا باید به طور متوسط دمای خشک داخل را حدود 10 deg F ($5/6 \text{ deg C}$) بالاتر از دمای محیط بیرون بدهند. در صورت وجود بخارات غیرعادی، دود، بو یا گرد و غبار میزان جریان هوا می‌تواند افزایش یابد. در هوارسانی با جابجایی (همرفت) طبیعی، دریافت حرارت داخلی توسط هوای 30 deg F ($16/7 \text{ deg C}$) رایج است، در نتیجه در بهترین حالت تنها سرمایش کمکی در نظر گرفته می‌شود.

در صورتی که میانگین دمای داخل بالاتر از بیرون باشد، در مقایسه با سرمایش برودتی به عایق کاری و درزبندی کمتری احتیاج است. البته، باید همچنان از طریق بام‌های عایق، دارای رنگ بازتابنده،

پنجره‌های سایه دار و دیوارهای سفیدرنگ عایقی که در معرض خورشید هستند در برابر گرمای خورشید محافظت کرد.

سرمایش با استفاده از هوارسانی، در ساختمان‌های بلند و باریک با پشت بام جمع و جور، مثل اغلب صنایع فولاد، شیشه و بسیاری از فلزکاری‌ها و صنایع فرآیندی، که مجاری تهویه در ارتفاع ۳۰ تا ۶۰ فوتی (۹ تا ۱۸ متری) از کف هستند، بهتر جواب می‌دهد. این ارتفاع موجب "اثر دودکشی" می‌شود که باعث افزایش جریان ورودی از پنجره در پایین می‌شود. البته، بیشتر موفقیت در سرمایش در واقع ربطی به هوارسانی ندارد. بام‌های مرتفع تنها میزان کمتری از گرمای خورشیدی جذب شده را به سطوح پایین تابش می‌دهند.

ساختمان‌های کوتاه و پهن، که اغلب در صنعت مناسب هستند، به صورت گسترده‌ای از فن استفاده می‌کنند. بخش میانی کف آن‌ها به سرمایش نیاز دارد زیرا اکثر هوا از فن‌ها و پنجره‌های واقع در پیرامون، مستقیماً به خروجی بام راه یافته و از قسمت مرکزی عبور نمی‌کند. در صورت استفاده از اگزوز فن‌های قوی در پشت بام و فن‌های بزرگ در یا بالای پنجره‌ها، که هوا را به داخل می‌دمند، جریان هوا از آن مناطق افزایش می‌یابد؛ یا این که می‌توان در بام از فن‌های پروانه‌ای کلاهک‌دار استفاده کرد که هوای بیرون را از گانال‌های عمودی به دیفیوزرهایی بدمند که بالای سر قسمت مرکزی ساختمان قرار دارند. همچون فن‌هایی که در پنجره نصب می‌شوند، این فن‌ها نیز می‌توانند با دمای تنها 1 deg F (۰/۶ deg C) بالاتر از دمای خشک بیرون هوا را به کارگران برسانند.

برخی از این فن‌ها هوا را از روی پشت بام داغ دریافت کرده و در نتیجه به نظر مدل‌های بلندتر بهتر هستند. برخی از آن‌ها دارای دمپر هستند تا در زمستان بالای آن بسته شده و در عوض درست زیر آن باز می‌شود تا هوای گرم مجاور سقف را به سمت کارکنان گردش بدهند. در عین حال، از طریق کانال‌های خاص، هوای بیرون به ایستگاه‌های کاری گرم‌تر دمیده شده و اشخاصی که در مشاغل با دمای بالا کار می‌کنند به صورت انفرادی توسط پنکه خنک می‌شوند. علیرغم مزایای روانشناختی، مورد اخیر می‌تواند موجب سلب آسایش شود.

دمیده شده هوا به روی انسان تنها وقتی ایجاد سرمایش می‌کند که: به اندازه کافی خنک‌تر از دمای 94 F ($34/4 \text{ C}$) پوست بوده تا از طریق همرفت موجب دفع حرارت شود، یا (۲) به اندازه کافی خشک باشد تا رطوبت پوست را تبخیر کند. شرط اول مهم‌تر است، زیرا تعریق وقتی صورت می‌گیرد که دمای محیط از سطوح آسایش بیشتر شود. به علاوه تعریق به منظور سرمایش تبخیری، ناشی از گردش خون است. آسایش ناشی از تبخیر از پوست، به تنهایی مستلزم افزایش فعالیت قلب و در نتیجه گرما و خستگی ناشی از آن است (به فصل ۴ مراجعه کنید).

فن های گردش دهنده

در حالی که فن هایی که هوای بیرون را وارد می کنند معمولاً مفید هستند، بسیاری از فن های گردش دهنده معمولاً موجب کاهش آسایش می شوند. نخست این که گردش هوای داخل، در هنگامی که دمای خشک آن بالاتر از دمای پوست است، موجب همرفت گرمای اتاق به کارگران و دفع آن به صورت تبخیر می شود. این کار موجب سلب آسایش، کاهش قابلیت تولید و تهدید سلامتی می شود.

دوم این که، فن هایی که در نقاط نامناسب نصب می شوند می توانند موجب افزایش دمای داخل شوند. اگر این کار موجب آشفته گی هوا در برابر دیوارهای گرم، سقف یا منابع داخلی گرما شود، نرخ همرفت افزایش یافته و دمای داخل نیز افزایش می یابد. اگر هوای گرم شده تخلیه نشده و به کارگران برسد موجب خستگی و سلب آسایش می شود.

در نتیجه، در صورت استفاده، فن های گردش دهنده باید تنها هوا را در اطراف پرسنل آشفته کرده و در فضای کاری یا در مواقعی که خالی از کارکنان است (به جز شب هنگام) آشفته گی ایجاد نکند. همچنین از آن ها باید هنگامی استفاده شود که دمای هوای تحویلی کمتر از 90°F ($32/2^{\circ}\text{C}$) بوده و به اندازه کافی خشک است.

حتی وارد کردن هوای بیرون نیز همیشه مفید نیست و نه تنها می تواند موجب افزایش رطوبت ورودی شود بلکه در صورت عدم فیلتر سازی، دوده، گرد و خاک، گرده، دود، حشرات و دیگر آلاینده ها نیز به همراه آن وارد شده و موجب افزایش هزینه تمیز کاری شده و احتمالاً بر روی محصولات، تجهیزات یا پرسنل تاثیر دارد. البته، سیستم های هوارسانی دارای فیلتری که در طول شب کار کند توصیه می شود. هوای گردش خنک شبانه گاهی داخل واحد صنعتی، به خوبی بیشتر گرمای ذخیره شده در طول روز را دفع کرده و موجب پیش سرمایه‌های برای روز آتی می شود.

هوارسانی نمی تواند فضاهای داخلی را تا پایین تر از دمای بیرون خنک کند. این عمل بیشتر دمای آنجا را به شرایط بیرون نزدیک می کند. وقتی دمای بیرون بالا است باید در جستجوی روش های دیگری برای آسایش بود.

سرمایش تبخیری در مقایسه با سرمایه‌های به طریق هوارسانی

هوارسانی و سرمایه‌های تبخیری رقبای طبیعی هستند. هر دوی آن ها:

- حجم بزرگی از هوا را تحویل داده یا تخلیه می کنند.
- در اثر حرکت هوا موجب سرمایه‌های زیادی می شوند.

- بیشتر از تجهیزات قابل تعویض استفاده می‌کنند.
- به سادگی آلاینده‌های هوا برد را می‌رو بند.
- استفاده از آن‌ها قابل انعطاف و تطبیق است.
- برای ساختمان‌های درجه دو مناسب هستند.
- هزینه نصب و استفاده از آن‌ها نسبت به سیستم برودتی بسیار کمتر است.

طرفداران سرمایش به طریق هوارسانی اعتقادی به نقش رطوبت در ایجاد آسایش نداشته و معتقد به اثر زنگ‌زدگی و کپک‌زدگی آن هستند. طرفداران سرمایش تبخیری از اصول ثابت شده رطوبت سنجی (سایکرومتریک) برای ایجاد آسایش بیشتر در مقایسه با سرمایش به طریق هوارسانی و اثرات جانبی آن استفاده می‌کنند. رطوبت سنجی و دماهای موثر (به فصول ۳ و ۴ مراجعه کنید). هر دو رای به برتری سرمایش تبخیری می‌دهند.

همان گونه که قبلاً ذکر شد، دماهای موثر، اثرات دماهای خشک، مرطوب و سرعت تماس هوا با پوست را به صورت تلفیقی بر روی احساس آسایش انسان نشان می‌دهند. آن‌ها اجازه می‌دهند که دو سیستم را به سادگی مقایسه کرد.

برای مثال، سیستم هوارسان در هوای نسبتاً مرطوب قادر است هوا را در دمای خشک 95 F (35 C)، دمای مرطوب 75 F ($23/9\text{ C}$) یا رطوبت نسبی 40% دریافت کند. اگر این هوا با سرعت 200 fpm ($1/0\text{ m/s}$) مستقیماً به انسان برخورد کند، دمای موثر (ET) 79 F ($26/1\text{ C}$) را ایجاد می‌کند. اگر این هوای تازه، ابتدا با هوای اتاق مخلوط شود و قبل از تماس با پوست دمای خشک آن 5 F ($2/8\text{ C}$) بیشتر شود، دمای خشک موثر آن حدود 82 F ($27/8\text{ C}$) می‌شود.

اگر همان هوا از کولرهای تبخیری مستقیم با بازده سرمایش 80% بگذرد موجب تحویل هوا با دمای خشک 79 F ($26/1\text{ C}$) می‌شود. در صورت برخورد این هوا با سرعت 200 fpm ($1/0\text{ m/s}$) به انسان، دمای موثر حدود 65 F ($18/3\text{ C}$) ایجاد می‌کند.

اگر هوای شسته شده قبل از برخورد به پوست 5 درجه فارنهایت ($2/8\text{ C}$) دریافت کند دمای موثر آن حدود 74 F ($23/3\text{ C}$) است که 8 F ($4/4\text{ C}$) کمتر از روش هوارسانی است.

بدین ترتیب احساس آسایش افزایش یافته ولی میزان رطوبت نسبی از 40 و 32 درصد مربوط به روش هوارسانی به ترتیب به 91 و 81 درصد در روش سرمایش تبخیری می‌رسد. بنابراین، با رطوبت بالا آسایش بیشتری ایجاد می‌شود زیرا با هوای دارای دمای خشک 95 F یا 100 F (35 یا $37/8\text{ C}$) در حالت هوارسانی در مقایسه با دمای خشک 79 یا 84 F ($26/1$ یا $28/9\text{ C}$) هوای شسته شده، بدون

در نظر گیری رطوبت، پوست کمتر خنک می‌شود که دلیل آن این است که هوای خنک‌تر حرارتی را به طریق همرفت به پوست نداده و مقداری نیز از طریق تبخیر دفع می‌کند.

هوای شسته شده‌ای که سردتر از دمای پوست است به سادگی از هر دو روش همرفت و تبخیر موجب سرمایه‌ی می‌شود. این هوا از طریق رسانش حرارتی را به بدن منتقل نمی‌کند در نتیجه مقدار حرارت کلی که باید دفع شود کوچکتر است و بدین ترتیب همرفت می‌تواند بخش بزرگتری را دفع کند. ظرفیت هوایی که از طریق تبخیر پوست را خنک می‌کند، در اثر رطوبت بالای هوای شسته شده کاهش یافته ولی همچنان برای ادامه کار مناسب است.

این اصول موجب تضمین موفقیت سرمایه‌ی تبخیری کارخانجات، در بسیاری از مناطق غیر قابل پیش بینی و شرایط آب و هوایی مختلف می‌شود. تقریباً جایی وجود ندارد که در آن سرمایه‌ی تبخیری نتواند آسایشی بهتر از روش هوارسانی ایجاد کند. به علاوه، در صورت استفاده از سرمایه‌ی تبخیری، این روش می‌تواند اغلب تجهیزات هوارسانی موجود در واحدهای صنعتی را به کارگیرد.

سرمایش تبخیری صنعتی

فناوری‌های به کار رفته برای سرمایه‌ی تبخیری ساختمان‌های صنعتی، بر حسب شرایط اقلیمی و طرح و سازه، کاربرد، اتلاف گرمایی، فرآیندهای کاری و ماشین‌آلات درون ساختمان و تجهیزات هوارسانی موجود، تفاوت می‌کند. لزوم استفاده از مواد یا محصولات خاص باید مد نظر قرار گیرد. کارخانجات پشم، چوب یا کاغذ باید مرطوب بوده در حالی که کارخانجات شیرینی پزی یا دارویی باید خشک باشند.

در حالت کلی، از آنجا که قیمت هوای شسته شده کسری از هوای برودتی است، بیشتر هزینه‌های مربوط به عایق، درزبندی در برابر نفوذ هوا، و دیگر موارد مذکور در بالا را می‌توان بیش از ۵۰ درصد کاهش داد. اگر چه حذف گرمای خورشیدی خود اهمیت دارد ولی سرمایه‌ی تبخیری، مشکلات ناشی از بخار، دود و گرد و غبار را تقریباً رایگان حل کرده به طوری که به یک سیستم دفع یا کنترل نیازی نخواهد بود. هزینه صرفه جویی شده اولیه و کارکرد می‌تواند عظیم باشد.

سرمایش تبخیری کارخانه معمولاً از یکی از دو الگوی زیر یا ترکیب آن‌ها تبعیت می‌کند که می‌تواند بر حسب نیاز از بخشی به بخش دیگر متفاوت باشد.

نخست در مناطق با رطوبت تابستانی کم یا معتدل، این روش تقریباً به صورت سرمایه‌ی فضا، اتاق یا محل است که تقریباً در همه جا به موازات تهویه مطبوع بوده و پیشرو این روش صنایع نساجی است.

تمام اتاق‌های کار کارخانه، که گاه چندین هزار متر مربع می‌شود، به عنوان یک بار و نه مجموعه تکه تکه‌ای از بارهای کوچک موضعی خنک می‌شوند.

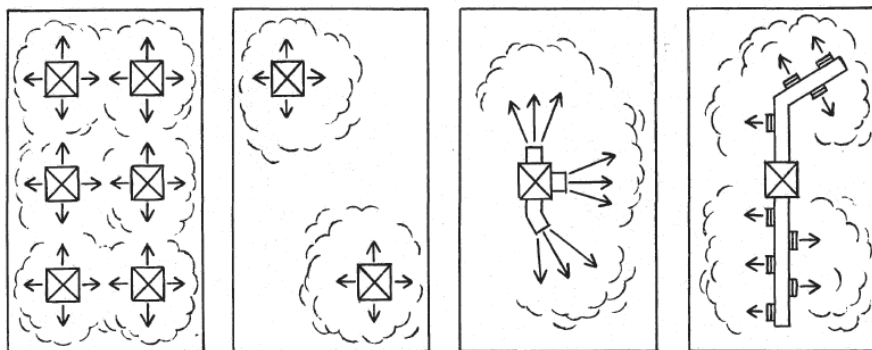
دوم در مناطق با رطوبت تابستانی نسبتاً بالا که خنک سازی فضا می‌تواند منجر به رطوبت داخلی بالایی شود، سرمایش نقطه‌ای یا سرمایش نفر(گاه سرمایش فردی نیز گفته می‌شود). ضمن حفظ رطوبت داخل در حد کمی بیش از رطوبت بیرون، موجب آسایش تقریباً معادلی می‌شوند(به شکل ۱ این فصل مراجعه کنید).

سرمایش فضا، اتاق یا محل

کاهش نسبتاً بالای دمای مرطوب، موجب افزایش بالای دمای هوای شسته شده می‌شود. در نتیجه اگر بار گرمایی کل بیش از حد نباشد، می‌توان بیشتر(اگر نه همه) فضای داخل را، بدون حجم اضافی از هوای شسته شده، به خوبی خنک کرد. سرمایش به صورت کلی بوده و محدود به نقاطی که افراد حضور دارند نمی‌شود(به شکل ۲ این فصل مراجعه کنید).

البته از آنجا که نسبت به اغلب شرکت‌های غیر صنعتی، احتمالاً سقف بلندتر و اتاق‌ها بزرگ‌تر است، به خاطر فاصله موجود، از گرمای تابشی بیرون که به اغلب کارگران می‌رسد، بسیار کاسته شده(به فصل ۴ مراجعه کنید). و کنترل دمای سطح احاطه کننده کمتر اهمیت دارد. در نتیجه مصرف جریان هوای شسته شده برای سرمایش سقف و دیوارهای داغ(به فصل ۱۸ مراجعه کنید). در اینجا ضرورت ندارد. به شرطی که معدودی کارگر در مجاور دیوارهای در معرض تابش خورشید باشند، معمولاً توزیع یکنواخت هوای شسته شده در بالای کف محلی که افراد حضور دارند، به همراه جریان اضافی در مناطق گرم‌تر کفایت می‌کند.

این کار در بسیاری از ساختمان‌های صنعتی یک طبقه، از طریق نصب چند کولر مستقیم بامی مجزا(که معمولاً از نوع آبی، آبی-پرتابی یا با پد افشانه‌ای هستند) انجام می‌پذیرد اما گاه هواسازهایی که بر روی بام و با فاصله از هم قرار داشته و دارای یک کانال تکی عمودی هستند که از هر هواساز به دیفیوزرها یا دریچه‌های چهارراهه واقع در بالای سر کارگر در پایین منتهی می‌شود. برای کاهش هزینه کانال‌کشی و مقاومت جریان، کانال‌های افقی، اتصالات و غیره به حداقل رسانده می‌شوند (به شکل ۳ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۱- چهار روش سرمایه‌ش تبخیری در واحدهای صنعتی، که در دو روش از دیفیوزرهای بالا سری و در دو روش از جریان متمرکز در ارتفاع کارگر استفاده می‌شود. در سمت چپ؛ سرمایه‌ش "فضا"، "اتاق" یا "محل" توسط دیفیوزرهای بالا سری، هوای شسته شده ورودی را قبل از تماس با انسان با هوای اتاق مخلوط می‌کند. وقتی در یک فضا جمعیت کارگران یکنواخت بوده یا به صورت آزاد در آن حرکت می‌کند این روش به خوبی کار می‌کند. در حالت کلی، هر چه دمای مرطوب کمتر باشد اتاقی که خنک می‌شود بزرگتر است. روش دوم سرمایه‌ش "جزیره‌ای" است که بسیار مشابه بوده و فقط کارگران در گروه‌های فشرده و نسبتاً ثابتی در آن فضا بوده که موجب عدم لزوم خنک‌سازی کل محل می‌شود. روش سوم "سرمایش جریانی" است که ردیف کارگران به دلیل شرایط کاری خود یا به دلیل این که هوای شسته شده، احتمالاً به خاطر میزان رطوبت هوای بیرون، به خوبی خنک نمی‌شود به سرعت هوای بالاتری نیاز دارند. تحویل از طریق دریچه‌ها یا تبدیل‌ها موجب ایجاد تلاطم در اطراف کارگر می‌شود. روش چهارم "سرمایش نقطه‌ای" است که طی آن کارگران به فوران‌های انفرادی هوای شسته شده نیاز دارند تا به منظور افزایش آسایش کارگران و سرمایه‌ش ناکافی هوای شسته شده به خاطر افت ناکافی دمای مرطوب، از وجود سرعت تماس کافی اطمینان حاصل شود. وقتی کارگران در محل کار تحرک اندکی دارند و به صورت فشرده در مسیر جریان‌های سرمایه‌شی موجود قرار می‌گیرند این روش بهتر عمل می‌کند. در نتیجه وقتی دمای مرطوب بیرون پایین است، سرمایه‌ش جزیره‌ای فضا، اتاق و محل ارجح است. وقتی این گونه نیست، استفاده از سرمایه‌ش‌های جریانی و نقطه‌ای می‌تواند برای شرایط دیگری بهتر عمل کند.

برای اطمینان از سرعت هوای 200 fpm (10 m/s) در تقریباً همه جا، هیچ نقطه‌ای نباید بیش از 50 ft ($15/2 \text{ m}$) از یک دهانه خروجی فاصله داشته و اغلب نقاط باید در فاصله 30 ft ($9/1 \text{ m}$) باشد. نقاطی که خارج از اتاق‌های اصلی قرار دارند می‌توانند با استفاده از اگزوز فن یا فن‌های گردشی، هوای شسته شده را دریافت کنند و در نتیجه کولرهای تبخیری مجزا توجیه ندارند.

جهت تمرکز تلاطم و صرفه جویی در جریان هوا، معمولاً تنها بخش پایین به ارتفاع ۷ تا ۱۰ فوت ($2/1 \text{ m}$) تا ۳ متر، که افراد مستقر هستند، خنک شده و دیفیوزرها تقریباً در ارتفاع ۱۰ فوتی (3 متری) از کف واقع شده و جریان خود را به بالای سر کارگر می‌دهند. هوای بالاتر که می‌تواند داغ و توزیع نشده باقی بماند (مگر این که از مجرای تهویه تخلیه شود) موجب عایق‌سازی هوای شسته شده و سطح محل استقرار افراد نسبت به پشت بام داغ فوقانی می‌شود.

از وجود سرعت هوای بالا در ایستگاه‌های کاری استقبال می‌شود. وقتی فعالیت فیزیکی کارگران اجازه می‌دهد، معمولاً سرعت‌های بالای بین ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ (۱۵/۲ تا ۲۰/۳ m/s) قابل قبول است. کارهای ساده‌تر و سبک‌تری که کمتر موجب گرم شدن کارگر می‌شوند، موجب کاهش سرعت قابل قبول برای سرمایش می‌شوند. به طور طبیعی، تلاطم هوا در طرفین میزهای کار نباید با کار تداخل داشته باشد.

کولرهای که به صورت پراکنده در پشت بام قرار می‌گیرند ترجیحاً از نوع تخلیه فروباد هستند تا هزینه زانویی، مقاومت در برابر جریان و قرارگیری در معرض نور خورشید کاسته شود. معمولاً اندازه‌های آن‌ها یکسان بوده و بسته به نیاز ایستگاه کاری زیر آن‌ها می‌تواند بزرگتر یا کوچکتر باشد. وقتی کارخانجات به گرمایش زمستانی هوا نیاز دارند، مثل چاپخانه‌ها، آبکاری‌ها، کارگاه‌های نقاشی، ساخت مواد شیمیایی، خشکسویی‌ها، جوشکاری‌ها و واحدهای ریخته‌گری و غیره، برخی یا تمام دستگاه‌ها می‌توانند به صورت دستگاه هوای جبرانی، کولر تبخیری یا هواساز باشند که دارای تجهیزاتی برای گرمایش و فیلترسازی هوای بیرون هستند.

اغلب تمام کولرها، آب تازه را از هدرهای تک لوله‌ای دریافت می‌کنند که احتمالاً در برابر گرمای پشت بام و خورشید عایق شده و بدون آب دور ریز و زیرآب‌کشی هستند. برخی دارای زیرآب به تشت‌های (حوضچه‌های) گروهی به منظور یک آب دورریز، فیلترسازی و تصفیه آب یکپارچه هستند و در نتیجه یک پمپ تکی چندین یا تمام کولرها را تغذیه می‌کند. این امر موجب صرفه‌جویی در نگهداری و استفاده از پمپ‌های بزرگتری می‌شود که بازده بالاتری دارند. هواسازها معمولاً مستقل هستند.

در پشت‌بام‌های عریض و تخت یا با کنگره‌های کم، هوای گرمی که از روی فضای بین کولرهای روی بام که در اثر تابش خورشید گرم شده برمی‌خیزد، می‌تواند موجب کاهش عملکرد شود در نتیجه بام‌های سفید یا نقره‌ای رنگ توصیه می‌شوند. خیس کردن پشت بام برای دفع گرمای خورشید توصیه نمی‌شود، زیرا ممکن است بخارات توسط کولر مکیده شوند.

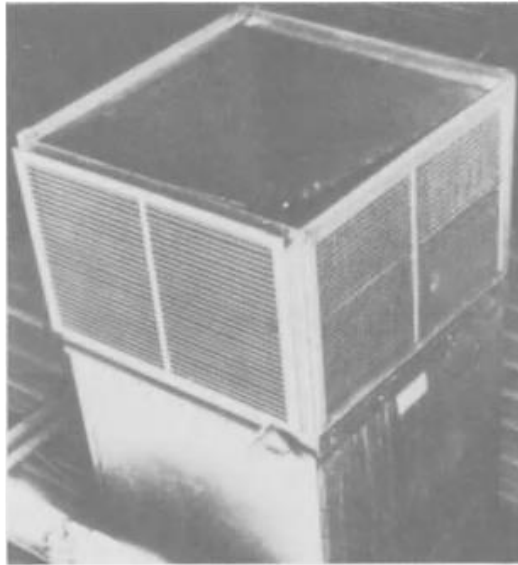
در برخی واحدهای صنعتی، هوای شسته شده استفاده شده، از طریق پنجره‌ها و درهای منتخب پایین دست جریان باد خارج شده و گرمای جذب شده داخلی را با خود حمل می‌کند. البته، حرکت رو به بالا از طریق پنجره‌های بام دندانه‌اره‌ای یا نورگیر، مکنده‌های سقفی یا اگزوزفن‌ها موجب سرمایش سازه فوقانی و کاهش تابش شده در نتیجه در صورت امکان این شیوه ترجیح داده می‌شود. البته باید از ورود مجدد این هوای شسته شده استفاده شده به کولرها جلوگیری شود.



شکل ۲- سرمایه مستقیم "فضا"، "اتاق" یا "محل" در یک کارخانه در استرالیا. به کانال‌های عمودی که هوای شسته شده را از کولرهای واقع در پشت بام می‌آورند و دریچه‌های واقع در ارتفاع ۱۲ فوتی (۳/۶۵ متر) از کف، که این هوا را قبل از برخورد به کارگران به صورت یکنواخت با هوای اتاق مخلوط می‌کنند، توجه کنید. این شیوه استفاده از توزیع رو به پایین بسیار ارزان‌تر از کانال‌کشی افقی است.



شکل ۳- در این کارخانه استرالیایی ۶۴ کولر آبی در پشت بام نصب هستند. ظرفیت اسمی هر کولر $16,000 \text{ m}^3/\text{s}$ (۹۷/۶) بوده و در هنگام نیاز بیش از یک میلیون $472 \text{ m}^3/\text{s}$ cfm را تحویل می‌دهند. سپس اگزوزفن‌های سقفی با تخلیه عمودی متصل واقع در بین ردیف‌های معین، نزدیک به $860,000 \text{ m}^3/\text{s}$ (۴۰۶) m^3/s cfm هوای شسته شده استفاده شده را دفع کرده و $140,000 \text{ m}^3/\text{s}$ (۶۶) m^3/s cfm باقیمانده، برای افزایش فشار و فرار هوا از درزها است. قرارگیری یکنواخت کولرها نشانگر فضا، اتاق یا محلی است که در پایین قرار داشته و قاب‌های باریک و بلند نگهدارنده پد و لوله‌های آبرسانی، که از معرض تابش خورشید تقریباً به دور نگه داشته شده‌اند، موجب بهبود بازده می‌شوند.



شکل ۴- یک دیفیوزر قابل تنظیم چهار راهه با نام تجاری Bessam-Aire که هوای شسته شده را از بالای سر توزیع می‌کند در نتیجه قبل از رسیدن به کارگران، این هوا با هوای اتاق به خوبی مخلوط می‌شود. این دیفیوزر در ارتفاع ۸ تا ۱۲ فوت (۲/۴ تا ۳/۷ متر) از کف واقع شده، در نتیجه هوای گرم فوقانی آن توزیع نشده و در نتیجه سقف عایق می‌ماند.

برای مثال، بسیاری از کارخانجات هوای گرم زیر سقف را از طریق مجاری دودکش‌مانندی تخلیه می‌کنند که دارای فن مکند و کلاهدک ضد باران هستند (به شکل ۵ مراجعه کنید). اگر دودکش‌ها بلندتر از کولرها باشند، معمولاً بازیابی هوای شسته شده اندک است.

در کارخانجات چند طبقه، طبقه فوقانی، به صورتی که گفته شد، می‌تواند توسط ردیفی از کولرهای واقع در پشت بام خنک شود. طبقات زیرین می‌توانند دارای کولرهای با پد افشانه‌ای، آبی-پرتابی یا آبی با خروجی جانبی باشند که در بالای اکثر پنجره‌های سمت جریان باد قرار داشته و آگزوزفن‌ها نیز در سمت مقابل هستند. این چیدمان لزوماً پر سر و صدا بوده و موجب یک جریان دارای کوران به صورت افقی در عرض فضای کاری می‌شود و در نتیجه به ایستگاه‌های کاری نیاز نیست. این روش موجب مسدود شدن ورود نور از بسیاری از پنجره‌ها نیز می‌شود.

گاه این کولرهای خارجی درست در زیر طبقه بالا نصب می‌شوند و کانال‌های داخلی را تغذیه می‌کنند که از عرض اتاق‌ها و بین خرپاها می‌گذرند. در زیر آن‌ها نیز دیفیوزرها و دریچه‌هایی برای محل‌های کاری زیرین تعبیه می‌شود. بر خلاف سیستم‌های ساده‌تر، این چیدمان اجازه می‌دهد تا فضا توسط تیغه‌ها و دیوارهایی از هم جدا شود.

البته، کولرهای با نصب دیواری و پنجره‌ای که توسط پایه نگه داشته می‌شوند، از کولرهای پشت بامی کمتر اقتصادی هستند. بنابراین، برای این کار، انواعی که به نگهداری اندکی نیاز دارند، توصیه می‌شوند که عبارتند از: آبی-پرتابی، با پد افشانه‌ای، دوار و با ماده واسط صلب.

به طور خلاصه، سرمایه‌ش کارخانه‌ای در مناطق با کاهش دمای مرطوب زیاد به مثابه سرمایه‌ش خانه‌ها و مکان‌های تجاری کوچک است، مگر این که سرعت‌های بالای هوا مجاز بوده و برای سرمایه‌ش دیوارها و سقف گرم به سرمایه‌ش کمتری نیاز باشد.



شکل ۵- اگزوزفن‌های با تخلیه عمودی موجب دفع هوای شسته شده استفاده شده از کارخانه نشان داده شده در شکل ۳ این فصل می‌شوند. اگزوزفن‌های مشاهده شده در بین ردیف کولرها، خروجی خود را به اندازه کافی به بالا می‌دمند و به میزان زیادی گردش مجدد هوا را کاهش می‌دهند. بهتر است این فن‌ها در بالای منابع داخلی گرما، بخار آب و گرد و خاک یا دیگر آلاینده‌ها نصب شوند.

وقتی ساختمان‌ها دارای تجهیزات هوارسانی قدیمی تری هستند همچنان همین اصول اعمال می‌شود. سیستم کانال یا فن‌های پنجره‌ای که هوای تازه را به داخل می‌آورند طوری تغییر می‌یابند که هوای شسته شده را توزیع کنند. اگزوز فن‌ها و فن‌های گردش دهنده بدون تغییر کار می‌کنند. هزینه کمی را در بر دارد.

در بسیاری کارخانجات، تابش شدید خورشید و گرمای ناشی از چراغ‌ها، کوره‌ها، موتورهای حرارتی، الکتروموتورها و دیگر منابع خشک موجب می‌شوند که رطوبت نسبی داخلی بسیار کمتر از بیرون باشد. برای راحتی، دفاتر فروشگاهی کوچک، بخش‌های بازرسی، ایستگاه‌های کمک‌های اولیه یا

استراحتگاه‌ها و کابین‌های جرثقیل‌های متحرک می‌توانند از کولرهای تبخیری استفاده کنند که از هوای داخل به جای هوای بیرون استفاده بهره می‌گیرند.

اگرچه این کار موجب صرفه جویی در کانال و هزینه نصب شده و هوای فیلتر شده را فراهم می‌کند ولی آسایش کمتری در مقایسه با وقتی که هوای خارجی استفاده می‌شود را فراهم می‌کند. بدین ترتیب این گونه سرمایش تنها هنگامی توصیه می‌شود که در اندازه‌های کوچک یا برای استفاده موقت در کارخانجات با هوارسانی نسبتاً خوب صورت گیرد.

سیستم‌های ایستگاهی مرکزی

همان گونه که ذکر شد، در ساختمان‌های چند طبقه سرمایش طبقات زیر طبقه فوقانی دشوار است. پنجره‌های بسیاری فدای استفاده از کولر یا اگزوزفن شده، و موجب می‌شود که این طبقات پر سر و صدا و دارای کوران شده و در عین حال از نور مصنوعی استفاده کنند.

ایستگاه‌های مرکزی دارای هواساز یا کولرهای بزرگ با ماده واسط صلب راه حل بهتری هستند. آن‌ها تقریباً با هر ظرفیتی ساخته می‌شوند: از دستگاه‌های تکی $150,000 \text{ cfm}$ ($70/8 \text{ m}^3/\text{s}$) برای بزرگترین تریلرهای طولی یا $250,000 \text{ cfm}$ ($118/0 \text{ m}^3/\text{s}$) برای حمل و نقل‌های ریلی. این دستگاه-ها بر روی پایه‌های سفتی ساخته شده و توسط جرثقیل‌های متحرک به بام منتقل می‌شوند.

آن‌ها با انواع دمنده‌ها و اجزای قابل الحاق (مدولار) شامل کویل بخار، کویل آب، پمپ حرارتی یا گرمایش الکتریکی و وسایل بازیاب حرارت یا وسایلی برای پیش سرمایش و پیش گرمایش هوای جبرانی و سرمایش برودتی هوا قابل عرضه هستند. بدین ترتیب آن‌ها را می‌توان متناسب با هر نیازی تطبیق داد.

در بهترین حالت آن‌ها، کولرهای ایستگاه مرکزی می‌توانند متناسب با شرایط آب و هوایی یا تقاضا، دارای سرمایش تبخیری، سرمایش هوارسانی، سرمایش برودتی یا گرمایش و همچنین رطوبت‌زنی و رطوبت‌زدایی باشند. آن‌ها به سادگی هوا را تا ۹۰ درصد اشباع و خنک کنند. در مدل‌های با ماده واسط صلب، آن‌ها ارزان‌ترین نگهداری و هزینه برق را دارند.

بر روی بام کارخانجات، لزومی به تداخل آن‌ها با کولرهای طبقه فوقانی و سیستم توزیع آن‌ها نیست. در نتیجه یک کولر ایستگاهی مرکزی می‌تواند طبقه اول را خنک کند و دیگری طبقه دوم را و کانال‌های بزرگ عمودی آن‌ها می‌توانند برای حمایت از فضای طبقه همکف در انتهای ساختمان، وسط آن یا حتی در خارج آن باشند.

در طبقاتی که بدین ترتیب خنک می‌شوند، کانال‌های اصلی افقی که از سقف آویزان هستند یا انشعابات دارای دیفیوزر یا دهانه خروجی، هوای شسته شده را به فضاهای کاری زیرین منتقل می‌کنند.

وقتی الکتروموتورهای بزرگ، اجاق، کوره، ماشین آلات ریخته‌گری یا منابع حرارتی دیگری هوای شسته شده را در بر گرفته و موجب کاهش رطوبت نسبی می‌شوند، می‌توان از یک سیستم تقسیم کارخانه نساجی^۱ استفاده کرد. افشانه‌سازهای مکانیکی یا هیدرولیکی می‌توانند در بیرون دهانه توزیع نصب شده و هوای شسته شده را به مناطق گرم تحویل دهد. در صورت نیاز، هوای شسته شده خروجی را تا رطوبت نسبی ۱۱۰٪ فوق اشباع کرده و توان خروجی را افزایش دهند. تا وقتی که قطرات بسیار ریز درون هوای شسته شده تبخیر شوند، دمای این هوا بالا نرفته و سرمایه‌ش موثری انجام می‌شود(به فصل ۱۴ مراجعه کنید).

البته، سیستم‌های مرکزی می‌توانند کل ساختمان را به تنهایی خنک کرده و موجب حذف ردیف کولرهای کوچک‌تر واقع در پشت بام شوند. به جز هزینه کانال‌کشی، سیستم‌های مرکزی با ماده واسط صلب قادر به ایجاد ارزان‌ترین سرمایه‌ش تبخیری موجود هستند. فن‌های بزرگ‌تر دارای موتورهای با بازده ۹۰ درصد و نه بازده ۶۰ تا ۸۰ درصدی کولرهای کوچک‌تر و بازده پمپ آن‌ها نیز به جای ۴۰ درصد، ۶۰ درصد است. به علاوه، ماده واسط صلب داخلی، موجب تلفیق ضریب تاثیر اشباع با حداقل مقاومت در برابر جریان و هزینه پمپاژ و نگهداری می‌شود.

به همراه سرمایه‌ش برودتی به صورت انتخابی، این دستگاه‌ها در بسیاری از روزهای مرطوب تا حد بیشتری موجب ایجاد آسایش در کارخانه می‌شوند. در نتیجه آن‌ها به گسترش جغرافیایی بازار برای سرمایه‌ش تبخیری کمک می‌کنند. بدون دستگاه‌های تطبیق‌پذیر ایستگاهی مرکزی، تهویه مطبوع در بسیاری از کارخانجات معظم بالای غرب میانه آمریکا تقریباً غیر ممکن می‌شود.

سرمایش نقطه‌ای یا شخصی(فردی)

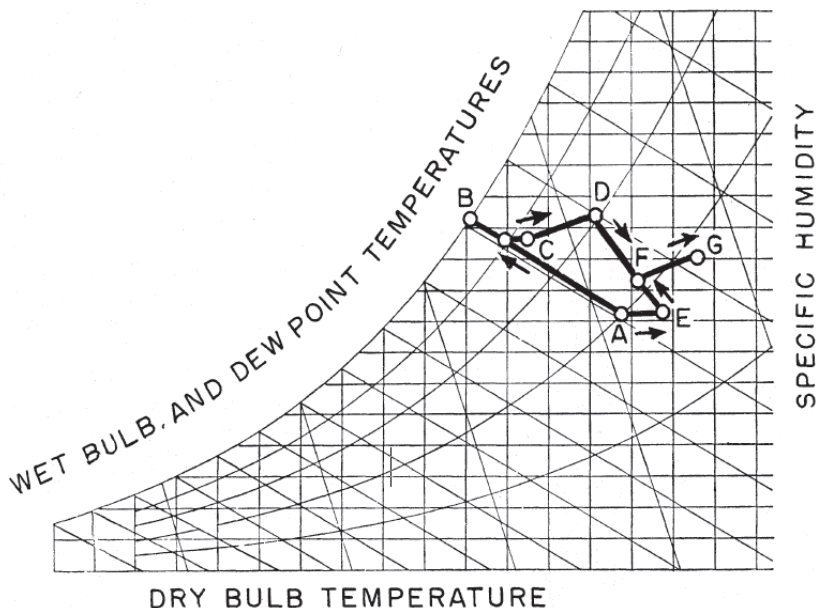
این سیستم در مناطق با رطوبت نسبتاً بالا و کارخانجات با منبع گرمایی داخلی بالا نظیر ریخته‌گری‌ها؛ کارگاه‌های فورج(آهن‌گری)، و نوردکاری‌ها، که بر حسب وظیفه کارگر نمی‌تواند از ایستگاه کاری تکان بخورد، به خوبی کار می‌کند. همچنین در کارخانجاتی که از قبل دارای تجهیزات هوارسانی گسترده‌ای هستند، مثل رختشویخانه‌ها، کنسروسازی‌ها و صنایع غذایی یا شیمیایی نیز کارکرد خوبی دارند. در کارخانجاتی نیز که کارگران به صورت گسترده در اتاق‌های کاری توزیع شده‌اند و در نتیجه سرمایه‌ش

کل فضا اقتصادی نیست و در هنگامی که جانمایی کارخانه در طی فصول مختلف تنها اندکی تغییر می‌کند نیز این سیستم بسیار مفید است (به شکل ۶ این فصل مراجعه کنید).

این سیستم به دو طریق کار می‌کند. وقتی دما در تابستان معتدل بوده ولی رطوبت قابل ملاحظه است و تجهیزات هوارسانی بزرگی موجود هستند می‌توان سرمایه‌های به طرق هوارسانی و تبخیری را در هم ادغام کرد. بدین ترتیب سیستم هوارسانی اتاق‌ها یا فضاهای عادی را خنک کرده و تجهیزات تبخیری نیز به صورت نقطه‌ای اشخاص را در ایستگاه‌های کاری خنک می‌کنند. [در روش دیگر] جریان هوای شسته شده متمرکز، با حجم بسیار بزرگتری از هوای متحرک آمیخته شده و با هم تخلیه می‌شوند تا رطوبت داخلی را کمی بالاتر از رطوبت بیرون نگه دارند (به شکل ۷ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۶- کولرهای آبی $21,000 \text{ cfm}$ ($9/9 \text{ m}^3/\text{s}$) با نام تجاری Williams واقع بر پشت بام ناهموار یک کارخانه. استقرار نامنظم کولرها، سرمایه‌های نقطه‌ای را پیشنهاد کرده و هر کولر چندین شیپوره یا خروجی را تغذیه می‌کند. توانایی کولرها برای کار، علیرغم شیب مشخص آن‌ها، نشانگر یکی از مزایای قاب‌های نگهدارنده پد باریک و بلند است. آبراه کوتاه آن‌ها توسط آب بندهایی تقسیم شده و توسط سیستم توزیع به صورت یکنواخت توزیع می‌شود تا موجب خیس شدن یکنواخت پد بشود.



شکل ۷- نمودار رطوبت سنجی فرآیند سرمایش نقطه‌ای تبخیری مستقیم در اقلیم‌های مرطوب. هوای بیرونی A به صورت آدیاباتیکی خنک شده و از دهانه خروجی سرمایش نقطه‌ای در نقطه C خارج می‌شود. این هوا موجب سرمایش انسان و محل کار شده و با گرفتن گرما مطابق نقطه D می‌شود. هوای A از پنجره وارد شده و گرمای اتاق را تا رسیدن به نقطه E دریافت می‌کند. در آنجا، این هوا با هوای D مخلوط شده و مخلوط F را تشکیل می‌دهند که با گرفتن گرمای اتاق در نهایت در G خارج می‌شود. افراد از آسایش CD برخوردار بوده و اتاق‌ها در شرایط میانگین نزدیک به F هستند.

از آنجا که سرمایش اصلی به طریق هوارسانی است، به جز ایستگاه‌های کاری در بقیه نقاط دمایی میانگین هوا بالاتر از دمایی بیرون است. در نتیجه به عایق کاری و درزبندی کمتری، در مقایسه با سرمایش برودتی یا سرمایش کل فضا نیاز است. برای اهداف صرفاً سرمایشی، عایق کاری خارجی تنها در هنگامی موثر است که بام و دیوارهای در معرض تابش خورشید، نسبتاً در مجاورت کارگران باشند.

از آنجا که حداکثر ۲۰ درصد حجم کل ساختمان به صورت تبخیری خنک می‌شود، مقدار تحویل هوای تقریباً شسته شده نسبتاً کم است. در طبقات فوقانی، که دارای کولرهای با اندازه و استقرار نامنظم در پشت بام تغذیه می‌شوند، هر کولر از طریق یک کانال ساده، یک، دو یا شاید چهار کارگر را خنک می‌کند.

وقتی هوای ناشی از هوارسانی به طبقه بالا از طریق دریچه‌های تهویه پشت بام یا پنجره تخلیه می‌شود، کولرها می‌توانند همچون فن‌های هوارسان، در پنجره یا دیوار مستقر شده و از طریق کانال‌های سقفی سرمایش نقطه‌ای ایجاد کنند. در واقع، هواسازهای ایستگاهی مرکزی بزرگ یا کولرهای با ماده واسط

صلب در یک طرف می‌توانند از طریق یک کانال اصلی دارای انشعاب، به صورت نقطه‌ای تعداد زیادی از کارگران را خنک کنند.

در اقلیم‌های گرم‌تر، سرمایش نقطه‌ای می‌تواند به سرمایش فضا ترجیح داشته تا بتوان نقاط داغ‌تر را خنک کرده تا در سرمایه‌گذاری و توان مصرفی سرمایش تبخیری صرفه‌جویی نمود.

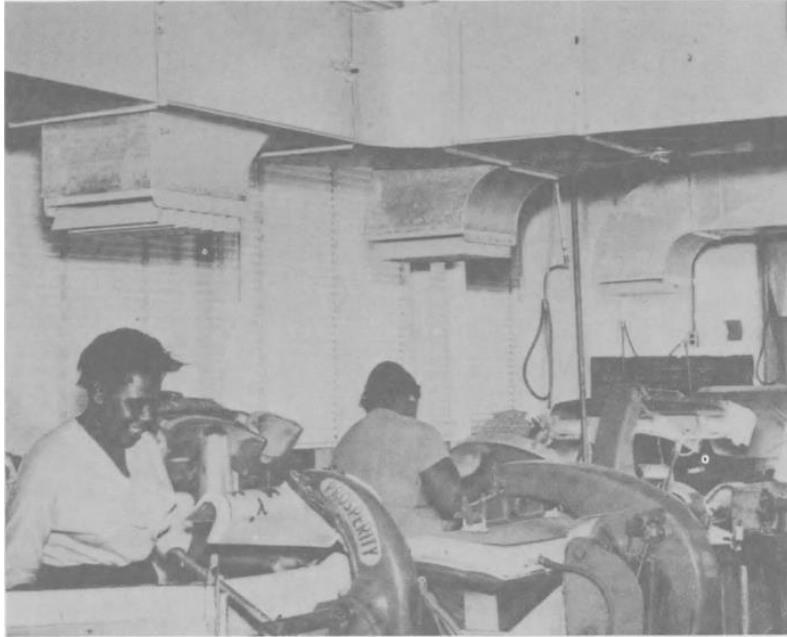
در نتیجه، محاسبه سرمایش فضا بر حسب تعویض هوا در هر یک یا دو دقیقه است. در مقایسه با حالت فوق، این کار موجب ایجاد آسایش کلی بهتری در اتاق کار شده و اجازه می‌دهد که کارگران با ناراحتی کمتری بتوانند حرکت کنند. هوای شسته شده استفاده شده به صورت رایج تخلیه می‌شود.

به علاوه، کارگران داغ‌ترین مشاغل در طبقات بالا توسط انشعابات خروجی کانال‌های مربوط به سرمایش فضا به صورت نقطه‌ای و در سایر طبقات، توسط کانال‌های فرعی مربوط به کولرهای نصب شده بر دیوار یا پنجره یا از طریق کانال‌های مربوط به کولرهای خاصی که در دیگر نقاط قرار دارند خنک می‌شوند (به شکل ۸ این فصل مراجعه کنید).

دهانه‌های خروجی سرمایش نقطه‌ای

سرمایش نقطه‌ای بسیار به حرکت سریع هوای شسته شده در محل کار کارگر بستگی دارد. این کار به جای این که یک کار علمی باشد بیشتر یک کار هنری است. حجم هوای تحویلی با نرخ کار کارگر و شرایط اطراف تغییر می‌کند. برای مثال:

- کار سبک یا کار مونتاژ با بار گرمایی پایین: 1000 cfm ($28/3 \text{ m}^3/\text{min}$)
- فعالیت متوسط یا کار با ماشین در مناطق گرم: $3000-1500 \text{ cfm}$ ($42/8-5/5 \text{ m}^3/\text{min}$)
- کار سنگین مثل ریخته‌گری در مناطق بسیار داغ: $3000-1000 \text{ cfm}$ ($4/1-7/42 \text{ m}^3/\text{s}$)



شکل ۸- دهانه‌های خروجی سرمایش نقطه‌ای که کارگران طی آن در وضعیت ثابت در معرض شرایط فوق داغ، پر بخار، دودناک یا بودار هستند. این امر موجب آسایش موضعی و هوارسانی شده و اغلب موجب صرفه‌جویی در سرمایش کلی و حتی محل استقرار افراد می‌شود. بیشتر اثرات آسایشی به خاطر سرعت فوق‌العاده بالای هوای شسته شده است. در این شکل، جریان رو به پایین اطراف کارگران موجب اطمینان از وجود هوای تمیز برای تنفس است. فوران‌های سرمایش نقطه‌ای نباید موجب دمش آلاینده‌ها به سایر کارگران بشود.

سرعت تحویل (برخورد) لازم متناسب با میزان گرمایی که در معرض آن قرار دارند تغییر می‌کند. برای مثال:

قرارگیری مستمر در ایستگاه‌های کاری ثابت:

– نشسته: ۱۲۵-۷۵ fpm (۳۸-۲۳ m/min)

– ایستاده: ۲۰۰-۱۰۰ fpm (۶۱-۳۰ m/min)

قرارگیری متناوب در اثر حرکت کارگران:

– بار گرمایی و فعالیت سبک: ۲۰۰۰-۱۰۰۰ fpm (۵/۱۰-۱/۲ m/min)

– بار گرمایی و فعالیت متوسط: ۳۰۰۰-۲۰۰۰ fpm (۱۰/۱۵-۲/۲ m/min)

– بار گرمایی و فعالیت بالا: ۴۰۰۰-۳۰۰۰ fpm (۱۵/۲۰-۲/۳ m/min)

بیشتر دهانه‌های خروجی سرمایش نقطه‌ای احتمالاً به صورت کانال‌های با انتهای بازی هستند که اغلب دارای زانویی ۴۵ درجه نسبت به جهت جریان مستقیم بر روی کارگران هستند. آن‌ها ارزان و ساده بوده ولی متاسفانه اغلب آن‌ها توسط کارگر قابل تنظیم نیستند. محاسبه اندازه عبارت است از:

$$m^2 = \frac{m^3/min}{m/min} \quad \text{یا} \quad ft^2 = \frac{cfm}{fpm} \quad \text{مساحت انتهای کانال:}$$

بدین ترتیب قطر کانال دایروی یا ابعاد کانال مستطیلی محاسبه می‌شود. در نتیجه برای cfm ۱۰۰۰ (۲۸/۳ m³/min) هوا که با سرعت ۶۰۰ fpm (۳/۰ m/s) تحویل می‌شود به مساحت کانال ۱/۶۷ فوت مربع (۰/۱۵۵ m²) نیاز دارد. اگر کانال دایره‌ای باشد قطر آن ۱۷/۵ اینچ (۴۴/۴ cm)، اگر مربعی باشد ضلع آن ۱۵/۵ اینچ (۳۹/۴ cm) و اگر مستطیلی باشد به ابعاد ۸ در ۳۰ اینچ (۲۰/۳ در ۷۶/۲ cm) است (به شکل ۸ این فصل مراجعه کنید).

دهانه‌های خروجی، که اغلب طوری شکل داده می‌شوند که بدن کارگر را تحت پوشش قرار داده یا اجازه حرکت بدهند، معمولاً در ارتفاع ۲ تا ۶ فوتی (۰/۱-۶/۸ m) بالای سر یا در یک سمت کارگر قرار دارند. به طور طبیعی دهانه‌های خروجی نباید گرما، بخار، دود یا غبار را به سمت کارگر دمیده یا در پشت وی گردابه ایجاد کنند. همچنین دهانه‌های خروجی نباید از طریق ورود هوای گرم اتاق تضعیف شوند. معمولاً پشت یا طرفین کارگر (ونه صورت) در معرض برخورد قرار می‌گیرند.

میزان نزدیکی دهانه، با سرعت هوای نازل شده پس از خروج از دهانه به علاوه دمای میانگین رو به افزایش ناشی از ورود هوا به اتاق ترتیب می‌یابد. سرعت کامل در فاصله‌ای در حدود پنج برابر قطر کانال رخ داده و سپس در فاصله حدود ۲۵ برابر قطر تا حدود ۲۰ درصد کاهش یافته به طوری که جریان هوا به صورت یک مخروط با زاویه ۲۲ درجه در می‌آید که بیشتر آن هوای اتاق است. در نتیجه برای یک هوای شسته شده معین، پایین‌ترین دماهای موثر در مجاور دهانه‌های خروجی رخ می‌دهد.^۱

ساده‌ترین، و نه بهترین، چیدمان می‌تواند به صورت کانال‌های باز و صافی باشد که با استفاده از مقاطع گرد یا مربعی، در صورت تحرک اندک کارگر، یا کانال‌های قابل تنظیم با مقطع مستطیلی، در صورت حرکت محدود کارگر، هوا را با سرعت مناسب به صورت فروباد به کارگر برساند. از آنجا که جریان از این دهانه‌های خروجی دارای زاویه واگرایی ۲۲ درجه است، یک کانال به طول ۱ تا ۲ فوت (۳۰ تا ۶۱ cm) در جهت مسیر که در ارتفاع ۵ فوتی (۱/۵ m) از بالای سر قرار دارد باید طولی به میزان ۴ تا ۵ فوت (۱/۲ تا ۱/۵ m) را خنک کند (به شکل‌های ۹ و ۱۰ این فصل مراجعه کنید).

کولرهای انفرادی دیگری هم هستند که هوا را با شیبوره‌های پر سرعتی به عرض ۱۰ اینچ (۲۵/۴ cm) و ارتفاع ۲۴ اینچ (۶۱ cm) در ارتفاع پایین تنه به صورت افقی در مسیر کاری دمیده و امکان حدود ۲۰ فوت (۶/۱ m) حرکت برای کارگر وجود دارد. کانال‌های دایروی، فوران‌هایی به قطر ۲۵ برابر قطر خود دمیده ولی سرعت آن کم بوده و استفاده از کانال مستطیلی موجب سرعت‌های بالاتری می‌شود.

در بسیاری مواقع سرمایه‌های نقطه‌ای به صورت قطری از بالای سر، بازوها و شانه‌ها صورت گرفته و اغلب دو تا چهار شیبوره به هم متصل شده و توسط یک کانال عمودی تکی تغذیه شده و چند نفر را خنک می‌کند. بسیاری از شیبوره‌ها در زیر کانال‌های افقی آویزان بوده تا فضای ردیف کارگران را در امتداد میز کار یا تسمه نقاله خنک کنند.



شکل ۹- کولر آبی با نصب در پشت بام که علیرغم عایق‌کاری ضعیف به خوبی کارگران استرالیایی را خنک می‌کند. به کانال‌های هم فاصله توجه کنید که به منظور مقابله با تابش، از پشت بام دندانانه آرهای به صورت رو به پایین هوا را می‌دمند تا حداکثر تلاطم در بین کارگران ایجاد شود. این روش مزایای سرمایه‌های فضا(اتاق) و سرمایه‌های نقطه‌ای را به صورت توأم دارد.



شکل ۱۰- هوای شسته شده با دمش فروباد باعث خنک شدن کارگران یک کارخانه تولید کفش لاستیکی شده و دود و غبار را از طریق پنجره‌های پشت بام دندانه اره‌ای در بالا به بیرون می‌فرستد. به شفافی هوا توجه کنید. در پشت بام کارخانه، ۳۰ کولر آبی ساخت استرالیا، با تخلیه فروباد با ظرفیت $15,000 \text{ m}^3/\text{s}$ (۷/۱) قرار دارد.

به منظور استفاده رضایتبخش‌تر، بهتر است شیپوره‌ها از نظر جهت و میزان خروجی توسط کارگران قابل تنظیم باشد. شیپوره‌ای که رایج است از نوع Navy Type E است که از کانال‌های بزرگ مدور با دو اتصال لغزان^۱ ۴۵ درجه ساخته می‌شود. جهت شیپوره‌ها می‌تواند به هر نقطه‌ای باشد تا ابعاد شخص و محل مورد نظر را تحت پوشش قرار دهد. دمپرهای داخلی این امکان را می‌دهند که جریان توسط کارگر تنظیم شود. دیگر انواع اتصالی که قابل جهت‌دهی هستند عبارتند از نوع مفصل توپی (گوی (ساجمه) و کاسه)^۲ و سیلندر دوار^۳. برخی از این اتصالات در طرفین یا پایین کانال‌های افقی نصب می‌شوند تا موجب حذف انشعاب کولر شده و در صورت لزوم اجازه تغییر محل کار را بدهند.

برخی کارگران فرآیندهای داغ را می‌توان از طریق دریچه‌های واقع در کف توسط هوای شسته شده به صورت نقطه‌ای خنک کرد. با ایجاد شکاف در کانال‌های افقی مجاور می‌توان به اندازه عرض شانه

1- Slip joint

2- Ball and socket joint

3- Rotating cylinder joint

کارگران سرمایه‌ش ایجاد کرد. در جایی که فوران هوا می‌تواند موجب پراکنده شدن کاغذ، پودر و لوازم کار شده و یا شعله‌ها را خاموش کند از صفحات مشبک^۱ با سوراخ‌های ۰/۲۵ اینچ (۶/۴ mm) در بالا یا پشت سر استفاده می‌شود.

وظیفه برخی کارگران ایجاد می‌کند تا از محل سرمایه‌ش نقطه‌ای حرکت کرده و جابجا شوند. اگر آن کار اجازه دهد، می‌توان آن‌ها را به مناطق خاص تحت سرمایه‌ش تغییر مکان داد تا این که تا حد لازم خنک شوند.

خلاصه این که، سرمایه‌ش نقطه‌ای متناسب با خلاقیت کاربر آن انعطاف پذیر است. برخی کارخانه‌ها از این روش در اتاق‌های کار شلوغ خود استفاده کرده و اتاق‌های کوچک را از طریق سرمایه‌ش فضا خنک می‌کنند.

لوازم جانبی سرمایه‌ش نقطه‌ای

با توجه به این که سرمایه‌ش نقطه‌ای موفقیت آمیز باید متناسب با هر محل کار باشد، محصولات خاصی می‌توانند مفید باشند.

نخست، کانال‌های گرد یا تخت-بیضی سبک وزن فولادی وجود دارد. با استفاده از درزهای قفل^۲ که به صورت مارپیچ در اطراف آن‌ها ایجاد می‌شود، می‌توان با ضخامت کمتری نسبت به حالت معمول به استحکام و شکل مناسب رسید. این کانال‌ها در اندازه‌های زیادی بوده و دارای زانویی، سه راهی، تبدیل و دیگر اتصالات بوده و به منظور جلوگیری از خوردگی در محیط‌های صنعتی، دارای روکش هستند.

دوم، اتصالات گردانی^۳ در اندازه‌های مختلف وجود دارد که مسیر جریان را به سمت افراد و محل‌های کاری هدایت می‌کند. اغلب آن‌ها دارای اتصال گوی و کاسه، زانویی با اتصال لغزان ۴۵ درجه یا اتصال با سیلندر دوآر هستند. از مجراهای فلزی انعطاف پذیر نیز می‌توان استفاده کرد.

سوم، انواع مدل‌های دهانه‌های خروجی وجود دارد که در سبک‌های مختلف به صورت گرد، و با شیپوره دمپر در در اندازه‌های مختلف و در طول‌های مورد نظر تا کانال‌های شکاف‌داری موجود است که جریان‌های بزرگی از هوا را به صورت نرم تخلیه کرده، که برخی داری دمپرهای قابل تنظیم برای

1- Peg board panel

2- Lock seams

3- Swivel joints

کنترل جریان هستند. برخی دیفیوزرها نیز طوری تنظیم می‌شوند که فوران‌های باریک را به مخروط-های پهن تبدیل می‌کنند (به شکل ۱۱ این فصل مراجعه کنید).

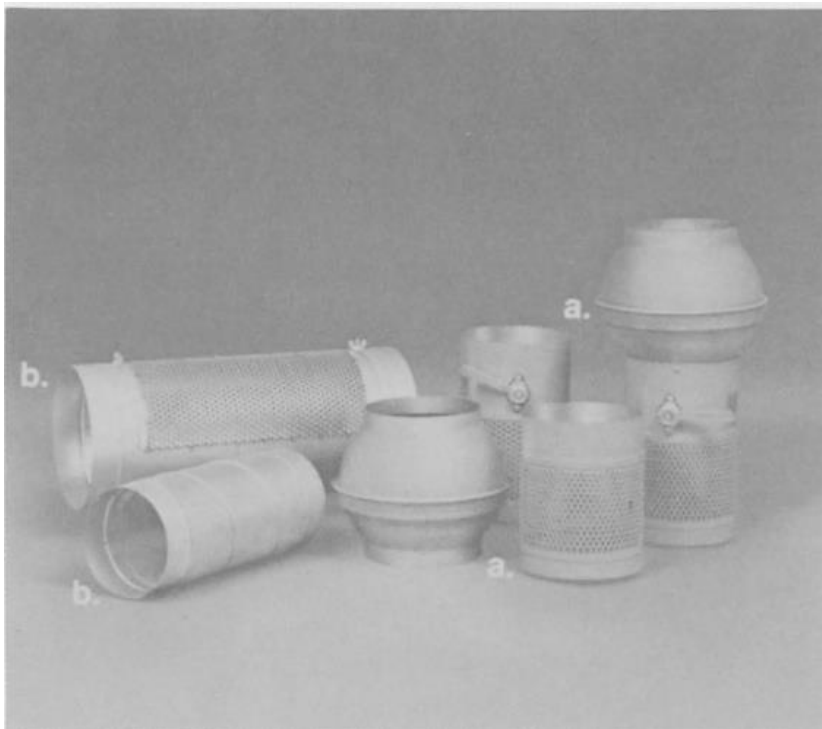
برای حجم‌های بزرگ با سرعت معتدل، دریچه‌های مستطیلی دارای تیغه (پره) برای تنظیم جهت جریان رایج هستند. وقتی کانال‌ها به موازات چند ایستگاه کاری در امتداد خط تولید هستند، دهانه-های خروجی لولایی می‌توانند طوری تنظیم شوند که دیواره کانال در پشت هر کارگر قرار گیرد.

یک حالت خاص

چند سال پیش، وقتی شرکت Alcoa نیروگاه نگزاس جنوبی را ساخت که در یک اتاق بزرگ دارای موتورهای درونسوز گازسوز ۱۶۰۰ hp بود، بارهای گرمایی تابشی و همرفتی بزرگی ایجاد شد. برای اطمینان از آسایش کارکنان مجاور موتور، از سه جهت توسط کانال $10,000 \text{ cfm}$ ($4/7 \text{ m}^3/\text{s}$) هوای شسته شده به سمت هر موتور دمیده شده و از عقب نیز $6,000 \text{ cfm}$ ($2/8 \text{ m}^3/\text{s}$) دیگر اضافه می‌شد (به شکل ۱۳ این فصل مراجعه کنید).

سرعت هوای خروجی کانال به طور میانگین 1000 fpm ($5/1 \text{ m/s}$) بود که موجب می‌شد علی‌رغم بارهای گرمایی متمرکز، آسایش در اتاق برقرار باشد. بیشتر هوای شسته شده به سمت بالا تخلیه می‌شد ولی بسیاری نیز از طریق موتورها خارج می‌شد. به عنوان تمیزترین، خنک‌ترین و چگال‌ترین هوای موجود، این هوا موجب افزایش عمر و توان موتور می‌شد. از آنجا که رطوبت به صورت بخار به موتورها وارد و از آن‌ها خارج می‌شد هیچ ضرری به همراه نداشت.

از آن پس، شاید از سرمایش تبخیری در صدها نیروگاه توربین گازی، ایستگاه‌های تقویت فشار لوله‌ها، نیروگاه‌های اتمی و موتورهای دیزل استفاده شده‌است.



شکل ۱۱- اتصالات با نام تجاری United McGill برای سرمایه‌های نقطه‌ای. مواردی که با حرف b در سمت چپ مشخص شده‌اند مقطعی از کانال هستند که در یک طرف سوراخ‌دار شده‌اند تا به نرمی جریان بزرگی را به صورت جانبی در نزدیکی سر و شانه‌های کارگر ایجاد کرده و در عین حال تا حد امکان آلاینده‌های هواپرد را از منطقه تنفس وی جابجا کنند. مواردی که با حرف a مشخص شده‌اند سرعت بالاتری را در سرمایه‌های ایجاد می‌کنند. در سمت راست یک شیبوره-دیفیوزر کامل با اتصال سیبکی (توبی) گردان و دمپر وجود دارد که گارگران می‌توانند از نظر محل برخورد و سرعت آن را تنظیم کنند. در پایین، تنظیمات دیگری موجب کنترل گستردگی جریان از یک فوران شده که در اینجا به صورت فروباد بوده و جریان از محل سوراخ‌ها به صورت مخروطی گسترش می‌یابد.

قواعد سرمایه‌های تبخیری در صنعت

سرمایش تبخیری در کارخانجات جدید نیست، ولی در مورد آن باید بسیار آموخته شود. البته به نظر اصول زیر بدیهی هستند:

کنترل بار سرمایشی:

۱. بارهای گرمایی خارجی را از طریق ایجاد سایه، رنگ بازتابنده، عایق کاری و درزبندی حداقل کنید. در صورت امکان از پاشش آب به پشت بام استفاده کنید.
۲. بارهای گرمایی داخلی را از طریق استتار، رنگ بازتابنده، عایق کاری، و نصب آگزوز فن بر بالای داغ‌ترین فرآیندها و ماشین‌آلات حداقل کنید.
۳. از نفوذ هوای داغ بیرون، گرد و خاک و غیره جلوگیری کنید. در مقابل تمام هوای خروجی، یک مقدار اندکی بیشتر هوای شسته شده را جایگزین کنید.
۴. در صورت امکان، هوای شسته شده خروجی را به سمت بالا جریان دهید تا زیر سقف و ستون‌ها و غیره را اندکی خنک کرده و تابش حرارتی رو به پایین از آن‌ها را کاهش دهد.
۵. در غیر این صورت، از بر هم زدن هوای فوق گرم زیر سقف اتاق‌های مرتفع خودداری کنید. بگذارید تا این هوا مکان‌های حضور افراد را در برابر سازه داغ پشت بام "عایق" کند.
۶. در اتاق‌های بزرگ، از گردش هوا در برابر دیوارهای خارجی جلوگیری کنید، مگر این که کارکنان در مجاور آن کار می‌کنند.
۷. در همه جا، از گردش هوا در برابر اجاق‌ها، کوره‌ها، ماشین‌آلات داغ و دیگر منابع گرمایی داخلی جلوگیری کنید. با استفاده از رنگ بازتابنده یا حفاظ، تابش از آن‌ها را حداقل کنید.

طراحی سیستم سرمایش:

۱. در صورت امکان از سیستم هوارسانی موجود استفاده کنید.
۲. کولرها را بر حسب مدت زمان طولانی بدون نیاز به نگهداری انتخاب کنید نه به خاطر قیمت اولیه پایین‌تر.
۳. در صورتی که بخش‌ها به گرمایش زمستانی یا صرفاً به گرم کردن صبحگاهی نیاز داشته باشند، از طریق کولرهای تبخیری با هوای جبرانی یا ایستگاه‌های مرکزی سرمایش و گرمایش، از وسایل گرمایشی در سیستم سرمایش استفاده کنید.
۴. علاوه بر بار، کولرها را بر حسب اقلیم و آب و هوا تعیین اندازه نکنید. کولرهای با اندازه کوچکتر از حد لازم بیش از آن که خنک کنند، ایجاد رطوبت می‌کنند.
۵. برای کسب خنک‌ترین هوای ورودی، کولرها را به صورت مناسب مثلاً در جهت بادگیر ساختمان یا پشت بام نصب کرده و همچنین مکان آن طوری باشد که از ورود بخار، دود، غبار، گرد و خاک یا هوای شسته شده استفاده شده جلوگیری شده و تعمیر و نگهداری آن به راحتی صورت گیرد.

۶. برای استفاده از هوای ورودی خنک‌تر در پشت بام، آن را به رنگ سفید یا نقره‌ای در آورید تا دمای بام کاهش یابد.
 ۷. برای اطمینان از ارزان‌ترین نگهداری، به منظور دسترسی به دستگاه، پله، بالکن، گره رو و غیره نصب کنید.
 ۸. برای حداقل‌سازی جذب گرمای خورشیدی، کولرها را به رنگ سفید یا نقره‌ای در آورید. لوله‌های آبرسانی را در برابر گرمای خورشید، هوا و بام عایق کنید.
 ۹. برای استفاده در پشت بام، به منظور حذف مقاومت جریان و گرمای جذب شده توسط زانویی‌ها، از کولرهای با جریان فرور باد استفاده کنید.
 ۱۰. طراحی را بر مبنای حداقل طول و مقاومت کانال انجام دهید. به جای استفاده از اتصالات متعدد در کانال، از کولرهای متعدد استفاده کنید.
 ۱۱. از وسایل تخلیه هوای با ظرفیت بالا، ترجیحاً در جهت باد و در بالای سر استفاده کنید. برای هر 400 cfm ($11/3 \text{ m}^3/\text{min}$) هوای شسته شده، یک دهانه خروجی یا آگزوز فن با خروجی معادل کولر به سطح یک فوت مربع ($0/093 \text{ m}^2$) تهیه کنید.
 ۱۲. در صورت لزوم از آب دورریز و مواد شیمیایی تصفیه کننده برای تصفیه آب استفاده کنید. وقتی گرد و خاک می‌تواند آب را بیالاید از فیلتر گرد و غبار استفاده کنید.
 ۱۳. تعمیر و نگهداری پیشگیرانه را برقرار کنید:
- فیلترهایی که افت استاتیک $0/25$ اینچ آب ($62/2 \text{ Pa}$) را ایجاد می‌کند را تمیز یا تعویض کنید.
 - تشت و چاهک‌های آب را دو بار در سال تمیز کنید. مناطق زنگ زده را تعمیر کنید.
 - پد کولرهای آبی را دو بار در سال، یا بر حسب نیاز، تعویض کنید.
 - شیپوره‌های کولرهای افشانه‌ای را تمیز کنید.
 - فیلترهای ورودی پمپ را تمیز کنید.
 - تمام موتورها، فن‌ها و دمپرها را روغن‌کاری کنید.
 - تمام تسمه‌ها را بازرسی و تنظیم کنید.

آسایش از طریق سرمایش فضا:

۱. وقتی افت دمای مرطوب آن قدر زیاد است که اجازه استفاده از حجم‌های متوسطی از هوای شسته شده را می‌دهد و در موارد زیر از روش سرمایش فضا استفاده کنید:
 - وقتی کارگران خیلی نزدیک به هم قرار داشته و آزادانه حرکت می‌کنند
 - وقتی بار سرمایی ساختمان کم یا متوسط است
۲. تمام اتاق‌های کوچک، شامل دیوارها، را خنک کنید (مثل منازل و فروشگاه‌ها).
۳. اتاق‌های بزرگی که در اطراف محل‌های حضور افراد قرار دارد را، با صرف نظر از دیوارها و سقف، به صورت زیر خنک کنید:
۴. دهانه‌های خروجی را طرح کنید که حداکثر ۵۰ فوت (۱۵/۲ m) و ترجیحاً ۳۰ فوت (۹/۱ m) از هم فاصله داشته و در ارتفاع حداکثر ۱۰ فوت (۳ m) بالاتر از کف واقع بوده و به صورت شعاعی یا در جهات مفید به غیر از سمت منابع گرمایی، شامل دیوارهای در معرض تابش خورشید، هوا را می‌دمد.
۵. تمام دیفیوزرها و دریچه‌ها باید توسط کارگران ذیربط قابل تنظیم باشد تا گرما، سرما و کوران هوا را بتوان در حد مناسب قرار داد.
۶. حجم هوای شسته شده لازم را از روی بارهای گرمایی معلوم تعیین کرده یا اجازه دهید، در اتاق‌های بزرگ با ارتفاع حداکثر ۱۰ فوت (۳ m)، در هر دقیقه یا یک و نیم دقیقه هوا تعویض شود.
۷. حجم هوای تحویلی به کارگران مجاور منابع حرارتی نظیر دیوارهای در معرض تابش خورشید یا ماشین‌آلات داغ را افزایش داده اما از سرمایش آن‌ها اجتناب کنید مگر این که تابش بزرگی به کارگران صورت گیرد.
۸. در اطراف اکثر کارگران، بر طبق میزان فعالیت و گرمای وارد، از سرعت‌های هوای داخلی حداقل ۲۰۰ fpm (۱/۰ m/s) استفاده کنید.
۹. برای ایجاد حرکت هوای مورد نظر، سرعت خروجی ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ fpm (۷/۶ تا ۱ m/s) را استفاده کنید.
۱۰. از سرمایش نقطه‌ای کارگران واقع در داغ‌ترین محل‌های کاری یا با فعالیت زیاد، به عنوان سرمایش تکمیلی استفاده کنید.
۱۱. در طبقات پایین‌تر، که هوای شسته شده از عرض اتاق‌های بزرگ می‌گذرد، مثل جریان از کولرهای پنجره‌ای تا اگزوزفن یا دهانه‌های هواکش، با استفاده از فن‌های گردشی یا سقفی سرعت را کاهش دهید.

آسایش از طریق سرمایش نقطه‌ای:

۱. در مواقعی که افت دمای مرطوب هوای بیرون متوسط یا کوچک است و در نتیجه سرمایش را می‌توان تنها با حجم‌هایی از هوای شسته شده انجام داد که برای سرمایش اتاق کار یا ساختمان بسیار بزرگ است و در موارد زیر از سرمایش نقطه‌ای استفاده کنید:
 - وقتی کارگران در اتاق‌های بزرگ پراکنده هستند.
 - وقتی بر حسب وظیفه کارگران در ایستگاه‌های کاری خود ثابت هستند.
 - وقتی فعالیت فردی کارگر و حرارتی که در معرض آن قرار دارد کاملاً متغیر است و مستلزم مقادیر متفاوتی از سرمایش است.
 - وقتی ساختمان دارای بارهای سرمایی نسبتاً بزرگی است که مثلاً ناشی از عایق کاری ضعیف، برخورد تابش خورشیدی و درزبندی یا مشکلات ناشی از منابع گرمایی داخلی یا هوارسانی است.
۲. در اتاق‌های کوچک از سرمایش فضا با تعویض هوای شسته شده در هر ۴۵ ثانیه استفاده کرده و اگرزوز فن‌های بالاسری، هوای مصرف شده را با همان نرخ ورودی خارج می‌کنند.
۳. برای اتاق‌های متوسط و بزرگ به صورت زیر از سرمایش نقطه‌ای افراد در محل کار استفاده کنید:
۴. برای تامین سرمایش کلی اتاق به طریق هوارسانی از سیستم هوارسانی موجود استفاده کرده یا از کولرهای تبخیری برای تامین میزان معتدلی از سرمایش کلی فضا بهره گرفته، یعنی در هر یک یا دو دقیقه در ارتفاع ۱۰ فوتی (۳ متری) از کف هوا را تعویض کنید. کل جریان باید ۲ تا ۵ برابر جریان نقطه‌ای کل باشد تا این جریان را به همراه آلاینده‌های احتمالی دفع کند.
۵. در سرمایش نقطه‌ای از دهانه‌های خروجی تقریباً ۱۰ در ۲۰ اینچی (۴/۲۵ در ۵/۳۰ سانتی-متر) استفاده کنید که جهت و حجم هوا در آن توسط کارگران قابل تنظیم باشد. در صورت نیاز به سرعت بالاتر این سطح را کوچک‌تر کنید.
۶. فاصله دریچه‌های سرمایش نقطه‌ای از هر کارگر اغلب باید ۲ تا ۶ فوت (۰/۶۱ تا ۱/۸۳ متر)، از کنار یا عقب، بوده و به سمت سر، شانه‌ها یا کمر (و نه صورت) باشد.
۷. بر اساس میزان فعالیت فیزیکی و گرمای وارد، ۸۰۰ تا ۲۰۰۰ cfm (۲۲/۷ تا ۵۶/۶ m³/min) هوای شسته شده را به ازای هر کارگر با سرعت ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ fpm تامین کنید. در حالت کلی، حجم هوا با میزان فعالیت و سرعت هوا با میزان گرمای وارد تغییر می‌کند.

۸. جریان هوا در سرمایش نقطه‌ای مستقیم طوری است که پس از سرمایش کارگران، این جریان نباید گرمای ماشین، دود یا گرد و غبار را به سمت دیگران هدایت کند.
۹. در مورد کارگران نسبتاً ساکن، توصیه می‌شود دریچه‌های سرمایش نقطه‌ای از بالای سر، با زاویه ۴۵ تا ۵۰ درجه به پایین جهت‌دهی شوند. آن‌ها دود و غبار را از منطقه صورت می‌رانند.
۱۰. وقتی کارگران در ایستگاه خود تحرک زیادی دارند از دریچه‌های سرمایش نقطه‌ای کم سرعت ۲۴ در ۲۴ اینچ (۶۱ در ۶۱ سانتی‌متر) استفاده کنید که در مسیر حرکت سیال هوا را به صورت افقی در ارتفاع کم می‌دمد.
۱۱. وقتی کارگران لزوماً به خارج از ناحیه سرمایش نقطه‌ای حرکت می‌کنند، برای استراحت لحظه‌ای، در اطراف مناطق خنک‌شده‌ای را تهیه ببینید.
۱۲. وقتی جنس مواد یا نوع فرآیند، اجازه سرمایش نقطه‌ای پرسرعت را نمی‌دهد، هوای شسته شده را از طریق صفحات مشبک در بالای سر، پشت سر یا اطراف کارگر استفاده کرده یا از کانال‌های سوراخ‌دار استفاده کنید. هر دو روش، سرمایش تقریباً بدون کوران را ایجاد می‌کند.
۱۳. در مورد سرمایش نقطه‌ای طبقات بالا، از اگزوزفن‌های سقفی یا مجاری تهویه در بالای سر استفاده کنید که هوای دمیده شده و هوای شسته شده را به صورت توام دفع کند. در سایر طبقات، پنجره و اگزوزفن موجب تامین هوای تازه به صورت عرضی شده تا هوای شسته شده سرمایش نقطه‌ای را روپیده و خارج کند.
۱۴. برای قطع دریافت گرما توسط هوای شسته شده درون کانال، از کانال با جنس بازتابنده و سرعت کانال تا 3000 fpm ($15/2 \text{ m/s}$) استفاده کنید. وقتی احتمال چگالش در کانال وجود دارد، از کانال‌های دایره‌ای با ناودانی متصل استفاده کنید.

سیستم‌های ترکیبی

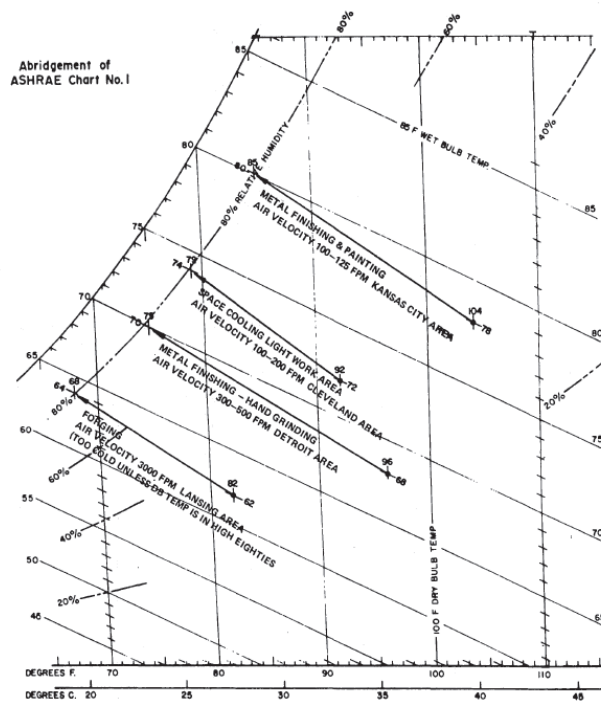
۱. همان طور که ذکر شد، استفاده از سرمایش نقطه‌ای مکان‌های کاری دشوار در اتاق‌های بزرگ تحت سرمایش فضا رایج بوده و اتاق‌های کوچک و پر جمعیت در واحدهای تحت سرمایش نقطه‌ای می‌توانند از طریق سرمایش فضا خنک شوند.
۲. در بسیاری مواقع از بخشی به بخش دیگر یا ساختمانی به ساختمان دیگر از سرمایشی استفاده می‌شود که با مشخصه‌های آن‌ها سازگارتر است. در نتیجه در بسیاری از کارخانجات بزرگ به میزان یکسانی از هر دو روش استفاده می‌شود.

آینده

در حالی که امروزه بسیاری از واحدهای صنعتی و تجاری دارای سرمایه‌ش برودتی هستند و برخی نیز به دنبال آن هستند ولی برای بسیاری از آن‌ها این روش هیچگاه مقرون به صرفه نیست. این گروه یک مشتری دائمی برای تهویه مطبوع تبخیری هستند.

در عین حال، در صنعت، برخی از سیستم‌های سرمایه‌ش برودتی نمی‌توانند از عهده هزینه بالای برق برآیند و با کهنه شدن رها می‌شوند. همان گونه که در بالا گفته شد سیستم‌های ساده بدون کانال، با سرمایه‌ش مستقیم تعویض می‌شوند. سیستم‌های کانال‌کشی شده به طریق ماهرانه، می‌توانند بازاری برای سرمایه‌ش تبخیری غیرمستقیم مرحله بندی شده‌ای باشند که از یک مرحله دوم به صورت سرمایه‌ش تبخیری مستقیم یا سیستم برودتی کوچک بهره می‌گیرند.

به هر صورت، در صورت نصب میلیون‌ها $(m^3/s)cfm$ سرمایه‌ش تبخیری، صنعت می‌تواند میلیون‌ها دلار در سرمایه‌گذاری، تعمیر و نگهداری و برق صرفه جویی کند.



شکل ۱۲- چهار حالت سرمایه‌ش واحد صنعتی در سطوح مختلف سرعت. دو بردار بالایی معرف سرمایه‌ش اتاق، فضا یا محل است. در سمت راست، در شرایط دمای خشک و مرطوب بر حسب فانهایت که به ترتیب معادل با ۴۰ و ۲۵/۶ درجه سلسوس و ۳۳/۳ و ۲۲/۲ درجه سلسیوس است آغاز می‌شود. انتهای آن‌ها در خط رطوبت نسبی ۸۰ درصد است که نشانگر

تقریباً $2F$ ($1/1 C$) افزایش دمای مرطوب است. آن‌ها، و سرعت‌های پایین آن‌ها، که به ترتیب 31 تا 38 و 31 تا m/min 61 است، آن‌ها را به بالای منطقه آسایش انتقال می‌دهند. بردارهای پایین معرف سرمایش نقطه‌ای بوده و از دماهای خشک و مرطوب به ترتیب $35/6 C$ و $20 C$ و $27/8$ و $16/7 C$ شروع می‌شوند. علیرغم افزایش دمای مرطوب، ولی سرعت 91 تا $152 m/min$ به این هوا کمک می‌کند تا وارد منطقه آسایش سرمایش تبخیری بشود. در سرعت $914 m/min$ بردار پایینی در تحت شرایط آزمون، سرمایش نامطلوبی را نشان می‌دهد. خروج از فرآیند دمای مرطوب ثابت که در شکل نشان داده شده نشانگر برخورد سنگین اشعه خورشید و/یا دریافت آب جبرانی بیش از حد گرم است^۱.

1- K. E. Robinson, "Man's Response to His Environment," Heating, Piping and Air Conditioning, January 1971, Pages 127-131.

پرسش‌های دوره‌ای

۱. به عنوان روش‌های افزایش تولید صنعتی، سرمایه‌ش کارخانه را از دیدگاه حرکت و مکانیزاسیون مقایسه کنید. کدام یک سریع‌تر اثر می‌کند؟ کدام یک می‌تواند بیشتر موجب ناراحتی کارکنان بشود؟ چرا؟
۲. در کارخانجات مناسب، برای پوشش هزینه‌های معمول سرمایه‌ش به چه میزان افزایش قابلیت تولید کارکنان نیاز است؟ در ادارات چقدر؟ در مدارس چقدر؟ در فروشگاه‌ها چقدر؟ اغلب در عمل چه رخ می‌دهد؟
۳. هشت هزینه مجزا یا اتلاف زمانی را که احتمالاً با سرمایه‌ش تابستانی کاهش می‌یابند نام ببرید. احتمالاً کدام یک با کاهش خستگی مربوط است؟ شرح دهید.
۴. درصد اتلاف خروجی کارگران در طی دمای محیط 80°F ($26/7^{\circ}\text{C}$) در مقایسه با 72°F ($22/2^{\circ}\text{C}$) چیست؟ در 85°F ($29/4^{\circ}\text{C}$) چیست؟ در چه دمای موثری دقت در کار به شدت افت می‌کند؟ آیا انتظار بر این است که نرخ تصادفات نیز به صورت مناسبی رفتار کند؟
۵. پنج روش برای جلوگیری از برخورد گرمای خورشید به کارگران را شرح دهید.
۶. روش‌های حداقل‌سازی گسترش گرمای تولیدی داخلی، مثلاً توسط کوره‌ها، را شرح دهید.
۷. چرا آگزوزفن‌ها در ساختمان‌های خنک شده با سرمایه‌ش برودتی، ایجاد بار سرمایی می‌کنند؟ آیا آن‌ها صرفاً تهویه می‌کنند؟ چرا؟
۸. هشت عاملی را که مانع از اقتصادی شدن سرمایه‌ش برودتی در برخی کارخانجات یا بخش‌ها می‌شود نام ببرید. در نتیجه در اغلب صنایع، چه بخش‌هایی برای استفاده از سرمایه‌ش برودتی مستعدتر هستند؟
۹. ساختمان‌هایی که به طریق هوارسانی خنک می‌شوند چگونه باید بیشترین عایقکاری را داشته و به اندازه سرمایه‌ش برودتی هزینه کنند؟ اگر در حین جریان از روی ساختمانی که به روش هوارسانی خنک می‌شود افزایش دمای هوای بیرون 20°F ($11/1^{\circ}\text{C}$) باشد دمای میانگین داخل چقدر است؟ ارتفاع سقف یا بام چه تاثیری دارد؟
۱۰. چرا هوای گردشی 95°F (35°C) بر روی پوست بدن انسان بیشتر تمایل به گرم کردن دارد تا خنک کردن؟ چرا گردش تصادفی هوا، در کارخانجات در معرض تابش خورشید، بیشتر تمایل به گرمایش دارد نه سرمایش؟
۱۱. چگونه در طی سرعت یکسان، هوای مرطوب سرمایه‌ش تبخیری نسبت به هوای خشک‌تر بیرون، دمای موثر کمتری بر روی پوست انسان ایجاد می‌کند؟ مثال بزنید.

۱۲. برای ساختمان‌هایی که به روش تبخیری خنک می‌شوند، چه راه‌هایی برای جلوگیری از گرمای بیرون وجود دارد؟ در مقایسه با سرمایش برودتی چه تمهیداتی از آن نوع را می‌توان چشم پوشی کرد؟
۱۳. سرمایش فضا، اتاق یا محل را تعریف کنید. در چه اقلیم‌هایی از آن بیشتر استفاده می‌شود؟ چه تمرکز یا توزیع کارگری مناسب‌تر است. شرح دهید.
۱۴. چگونه هوای شسته شده در بهترین حالت به اتاق‌های کاری که به طریق "سرمایش فضا" خنک می‌شوند تحویل شود؟ چه بخش‌هایی از اتاق خنک نمی‌شوند؟ اغلب چه سرعت میانگینی برای گردش هوا مورد نظر است؟
۱۵. در سرمایش فضای کارخانجات یک طبقه، بهتر است کولرهای تبخیری در چه مکانی نصب شوند؟ چگونه فضا بندی و تعیین اندازه می‌شوند؟ آن‌ها چه اتصالات کانالی دارند؟ چرا؟
۱۶. در سرمایش فضای طبقات پایین کارخانجات چند طبقه اغلب کولرها در چه مکانی قرار می‌گیرند؟ چگونه هوای شسته شده استفاده شده به بیرون تهویه می‌شود؟ مشکلات رایج چیست؟
۱۷. دستگاه‌های سرمایش-گرمایش ایستگاهی مرکزی و تطبیق پذیری آن‌ها را شرح دهید. چه اجزایی موجب اقتصادی شدن آن‌ها برای سرمایش می‌شود؟ حداکثر ظرفیت جریان هوا چیست؟ آیا آن‌ها مثل کولرهای کوچک‌تر می‌توانند سیستم ساده کانال کشی داشته باشند؟ چرا؟
۱۸. در چه اقلیم‌هایی و چه نوع کارخانجاتی سرمایش نقطه‌ای یا فردی استفاده می‌شود؟ چه توزیع کارگری در کارخانه موجب سهولت استفاده از آن می‌شود؟ چرا این روش معمولاً می‌تواند از تمام تجهیزات هوارسانی استفاده کند؟
۱۹. در چه جایی از یک اتاق کار با سرمایش فضا می‌توان از سرمایش نقطه‌ای استفاده کرد؟ در یک کارخانه که از سرمایش نقطه‌ای استفاده می‌شود، در چه مکانی سرمایش فضا رخ می‌دهد؟ در کولرهای تبخیری تغذیه کننده هر روش، چه تفاوت‌هایی به نظر می‌رسد؟
۲۰. سرعت هوا در سرمایش نقطه‌ای بر حسب هر کارگر فرق می‌کند -----؟
حجم جریان هوای هدایت شده به ایشان بیشتر بر حسب کارگر تغییر می‌کند -----
-----؟ چه محدوده سرعتی رخ می‌دهد؟ چه حجم جریان هوایی رخ می‌دهد؟
۲۱. فوران‌های هوای سرمایش نقطه‌ای چگونه باید قرار گیرند تا کارگران را خنک کنند؟ فوران‌ها نباید چه کار کنند؟ شرح دهید.

۲۲. در سرمایه‌های نقطه‌ای، دهانه‌های خروجی باید چگونه تنظیم شوند؟ چه کسی باید این کار را بکند؟ در کجا شما از صفحات مشبک یا کانال‌های سوراخ‌دار یا شکاف‌دار استفاده می‌کنید؟

۲۳. چرا ساختمان‌هایی که به صورت تبخیری خنک می‌شوند موجب افزایش توان موتورهای دیزل، توربین‌های گاز و غیره می‌شوند؟ آیا برای الکتروموتورها و ژنراتورها هم تاثیری دارند؟ چگونه؟

۲۴. چگونه می‌توان با سرمایه‌های تبخیری نفوذ هوای گرم بیرون از درزها را حداقل ساخت؟ کولرهای تبخیری در کجا به خنک‌ترین هوای بیرون دست می‌یابند؟ چگونه می‌توان دمای هوای پشت بام را پایین آورد؟

۲۵. در یک کاربرد معمول سرمایه‌های تبخیری، چگونه می‌توان طول و هزینه کانال کشی را حداقل ساخت؟ یک محل قابل قبول برای دهانه خروجی هوای شسته شده استفاده شده به بیرون چیست؟ در چه جهتی باید به بیرون تخلیه (تهویه) شود؟ چرا؟

۲۶. چرا جنس بازتابنده کانال و سرعت بالای هوای شسته شده در آن موجب کاهش دریافت گرمای سطوح و هوای احاطه کننده می‌شود؟ شرح دهید. چه مواردی موجب صرفه جویی در هزینه اولیه و افزایش احتمالی هزینه اولیه می‌شوند؟ چه مواردی می‌توانند به افزایش هزینه کارکرد منجر شوند؟

۲۷. در کجا امکان دارد که فن‌های ساده سقفی و دیگر فن‌های گردش دهنده هوا موجب بهبود سرمایه‌های در اتاق‌های بزرگی شوند که به روش تبخیری خنک می‌شوند؟ در کجای ساختمان این چنین اتاق‌هایی یافت می‌شود

فصل ۱۴

سرمایش تبخیری کارخانجات نساجی

در حالی که در جنوب غربی آمریکا انواع شاخصی از وسایل سرمایش تبخیری ابداع می‌شد، در کارخانجات ریسندگی و بافندگی شرق و جنوب شرقی نیز انواع دیگری توسعه یافت که طی آن رطوبت زن‌های سنتی به وسایل سرمایش تبدیل شدند.

در کارخانجات نساجی مقدماتی^۱ که با کارخانجات نساجی تکمیل کننده^۲ متمایز هستند به رطوبت بالایی برای تولید نخ و پارچه خام نیاز است. کارخانجات تکمیل کننده که پارچه‌های خام را آماده عرضه به بازار می‌کنند به این رطوبت بالا نیازی نداشته و بعداً مورد بررسی قرار می‌گیرند.

تاریخچه

همان گونه که جدول زیر نشان می‌دهد، ریسندگی و بافندگی کتان، پشم، پنبه و ابریشم مستلزم ۵۰ تا ۸۵ درصد رطوبت است. بنابراین، تولیدکنندگان بزرگ منسوجات در مناطق مرطوب بریتانیا، نیوانگلند و مناطق ساحلی کارولینا و جورجیا پا به عرصه گذاشتند. رطوبت بالا موجب استحکام الیاف نخ و کاهش پارگی در طی ریسندگی و بافندگی می‌شود.

ماشین‌آلات نساجی قدیمی که توان خود را توسط تسمه‌های چرمی از پولی‌های فوقانی دریافت می‌کردند، اغلب در طول ساختمان کارخانه امتداد داشتند. موتورهای بخار و چرخ‌های آبی که به این

1- Primary(gray) mills

2- Finishing mills

ماشین‌آلات توان می‌دادند در خارج ساختمان بوده و هیچ گرمایی به داخل نداده، در نتیجه رطوبت طبیعی که از طریق پنجره‌ها وارد می‌شد معمولاً برای حفظ استحکام نخ کفایت می‌کرد.

البته تسمه‌ها غیرقابل اعتماد و خطرناک بودند، در نتیجه الکتروموتورهای با انتقال توان مستقیم جایگزین آن‌ها شدند. موتورهای یک اسب بخار یا بزرگ‌تر هر دستگاه نساجی یا بافندگی، گرما و اصطکاک منجر به گرما داشته و به دلیل تجمع گرما موجب خشکی هوا و تضعیف الیاف نخ می‌شد. از آنجا که سدها ماشین در سالن‌های بزرگ نساجی قرار می‌گیرند لذا رطوبتی که از طریق پنجره‌ها وارد می‌شود دیگر در تابستان و زمستان کفایت نکرده، در نتیجه انواع رطوبت زن‌های افشانه‌ای برای ایجاد رطوبت توسعه یافتند.

سیستم‌های رطوبت زن کارخانجات نساجی مقدماتی

رطوبت زن‌های کارخانجات نساجی مقدماتی دارای مزایای زیادی هستند. با استفاده از آن‌ها، با توجه به استحکام بیشتر نخ، می‌توان ماشین‌آلات را نزدیک‌تر و با سرعت بالاتر ترتیب داد و در عین حال اصطکاک چسبندگی به دلیل بار الکتریکی و ایجاد پرز و غبار کم‌تر است. پارچه‌های تولیدی دارای کیفیت یکنواختی بوده و دارای نقص کم‌تر، ظاهر بهتر و استحکام بیشتر بوده و به ازای هر پوند، ماده خروجی بیشتری را ارائه می‌دهد. به علاوه، پارگی کمتر نخ به هر اپراتور اجازه می‌دهد تا بر ماشین‌های بیشتری نظارت داشته و به دلیل کاهش پرز و غبار، خطرات سلامتی و آتش‌سوزی به همراه هزینه‌های نظافت کاهش می‌یابد. کنترل رطوبت در اطراف دارهای بافندگی و دستگاه‌های قدیمی‌تر که دارای اجزای چوبی هستند نیز ضرورت دارد. نمونه مقدار رطوبت توصیه شده برای فرآیندهای مختلف نساجی در دو جدول ۱ و ۲ زیر نشان داده شده‌اند.

مقادیر بالا نشانگر این است که مواد سنتی باید در برخی فرآیندها، به ویژه بافندگی در میانگین رطوبت نسبی حدود ۶۵٪ با سرعت بیشتری مورد فرآوری قرار می‌گیرند. در مقابل، الیاف مصنوعی به رطوبت نسبی حدود ۶۰٪ احتیاج داشته ولی برای جلوگیری از شکنندگی لازم است که دما بالاتر باشد. الیاف مخلوط پلی‌استر-پنبه استثنا بوده و به رطوبت نسبی ۳۰٪ نیاز دارند.

وجود چندین الکتروموتور و چراغ موجب دریافت حرارت زیادی شده ولی رطوبت باید به صورت مستقیم یا غیر مستقیم تامین شود. منظور از مستقیم این است که رطوبت زن‌های موجود در محل، مستقیماً به هوای هر اتاق رطوبت بدهند که این یک روش قدیمی بوده و استفاده از آن رو به کاهش است. منظور از غیر مستقیم این است که اتاق از طریق کانال متصل به یک منبع خارجی، که معمولاً ایستگاه‌های بزرگ مرکزی مرطوب‌سازی هوا هستند، هوای مرطوب دریافت کرده و آن را با هوای اتاق مخلوط کند. استفاده از سیستم‌های غیر مستقیم در حال رشد است.

رطوبت‌زنی مستقیم

رطوبت‌زن‌های مستقیم دارای انواع مختلفی هستند که شامل برخی دستگاه‌های با فوران بخار جهت استفاده زمستانی می‌شود. آن‌ها اساساً از نظر نحوه پودر کردن آب و توزیع تُنک مه^۱ با هم فرق می‌کنند.

ساده‌ترین سیستم‌هایی که از پودرکننده (اتمایزر) استفاده می‌کنند به صورت شیپوره‌های افقی ساده‌ای است که بدون هیچ وسیله پخش‌کننده بخار در بالای دستگاه نصب می‌شوند. اغلب آن‌ها از هوای فشرده برای پودر کردن آب استفاده کرده و اغلب مستلزم دمش هستند تا آب را از یک منبعی که در اثر جاذبه پر می‌شود کشیده و تنها به سوپاپ‌های هوا جهت کنترل نیاز دارند. در سایر سیستم‌ها از آب و هوا در فشارهای حدود ۲۵ psi (۱۷۲/۳ kPa) استفاده شده و دارای شیرهای آبی هستند که به منظور کنترل همزمان توسط فشار هوا کنترل می‌شوند. اغلب اتمایزرهای پنوماتیک گاه گاه دچار گرفتگی شده و در هر ساعت ۵ تا ۱۵ پوند (۲/۳ تا ۶/۸ کیلوگرم) آب می‌پاشند.

اغلب رطوبت‌زن‌ها در بالا به صورت جفتی نصب شده و در جهت همدیگر افشانه را پاشیده و اتمایزرها باید در ارتفاع کافی باشند تا قطرات، قبل از لمس ماشین تبخیر شوند. در صورتی که اتمایزرها دارای جهت‌دهی ولی فاقد توان لازم برای اختلاط می‌باشند، آن‌ها باید چندتایی و نزدیک به هم بوده و برای رطوبت‌زنی یکنواخت اتاق‌های بزرگ باید تحت حرکت شدید هوا قرار بگیرند. اغلب، اتمایزرهای بزرگ در بالا یا جلوی منابع گرما قرار می‌گیرند تا از ایجاد مناطق کم رطوبت در آنجا جلوگیری کنند (به شکل ۱ این فصل مراجعه کنید).

علاوه بر هزینه‌های برق و تعمیر و نگهداری، در مواردی که عملکرد سیستم رطوبت‌زنی به کمپرسور هوا بستگی دارد خرابی کمپرسور نیز موجب توقف رطوبت‌زنی می‌شود. سیستم‌های اتمایزر، اگر چه می‌توانند تا رطوبت نسبی ۹۵٪ را ایجاد کرده و به راحتی کنترل شوند ولی یک سوپاپ (شیر) هوا می‌تواند بر رطوبت یک فضای بزرگ حاکم باشد. قابلیت انعطاف بسیار مهم است زیرا بسیاری از کارخانجات نساجی در طول سال الیاف مختلفی را فرآوری می‌کنند که رطوبت مورد نیاز آن‌ها متفاوت است.

1- Mist: مجموعه‌ای از قطرات خیلی ریز آب؛ به آن میغ هم می‌گویند.

جدول ۱-دما و رطوبت هوا در کارخانجات نساجی

Process	Cotton			Wool Processing			Worsted			Linen and (Silk)			
	Conditions	F	C	rh	F	C	rh	F	C	rh	F	C	rh
Opening	75	24	55										
Picking	75	24	55	80-85	27-29	60							
Carding	75	24	55	80-85	27-29	65-70	80-85	27-29	65	75-80	24-27		60
Drawing	80	27	60				80-85	27-29	65				
Roving	80	27	60										
Combing							80-85	27-29	65-70				
Grilling							80-85	27-29	65-70				
Top Storage							80-85 ⁵	27-29	65-70				
Ring Spinning:													
Conventional	80-85	27-29	60-70 ¹										
Long Draft	80-85	27-29	55										
Spinning				80-85	27-29	50-60 ³				75-80	24-27		60
Cap Spinning							80-85	27-29	50-55				
Spooling	80	27	65				75-80	24-27	65-70				
Warping	80	27	65										
Winding													
Dressing				75-80	24-27	60							
Preparatory										(80)	(27)		(60-65)
Weaving	80	27	70-85 ²	80-85	27-29	60-75 ⁴	80	27	55-70 ⁵	80 (80)			80 (60-70)
Finishing							75-80	24-27	60				
Cloth Room	75	24	65-70										

¹ Depends on draft, twist, staple, and spinning aprons.

² Varies with cloth construction.

³ Depends on class of stock and regain in roving.

⁴ Heavy woolens weave best with 75% rh.

⁵ Depends on staple quality and construction.

* Adapted from Stamper and Koral, *Handbook of Air Conditioning, Heating and Ventilating*, (New York: Industrial Press, 1979)

جدول ۲-دما و رطوبت هوا برای فرآوری الیاف مصنوعی

Process	Cotton			Wool Processing			Worsted			Linen and (Silk)		
	F	C	rh	F	C	rh	F	C	rh	F	C	rh
Opening	75	24	55									
Picking	75	24	55	80-85	27-29	60						
Carding	75	24	55	80-85	27-29	65-70	80-85	27-29	65	75-80	24-27	60
Drawing	80	27	60				80-85	27-29	65			
Roving	80	27	60									
Combing							80-85	27-29	65-70			
Grilling							80-85	27-29	65-70			
Top Storage							80-85 ⁵	27-29	65-70			
Ring Spinning:												
Conventional	80-85	27-29	60-70 ¹									
Long Draft	80-85	27-29	55									
Spinning				80-85	27-29	50-60 ³				75-80	24-27	60
Cap Spinning							80-85	27-29	50-55			
Spooling	80	27	65				75-80	24-27	65-70			
Warping	80	27	65									
Winding												
Dressing				75-80	24-27	60						
Preparatory										(80)	(27)	(60-65)
Weaving	80	27	70-85 ²	80-85	27-29	60-75 ⁴	80	27	55-70 ⁵	80 (80)		80 (60-70)
Finishing							75-80	24-27	60			
Cloth Room	75	24	65-70									

¹ Depends on draft, twist, staple, and spinning aprons.

² Varies with cloth construction.

³ Depends on class of stock and regain in roving.

⁴ Heavy woolens weave best with 75% rh.

⁵ Depends on staple quality and construction.

* Adapted from Stamper and Koral, *Handbook of Air Conditioning, Heating and Ventilating*, (New York: Industrial Press, 1979)

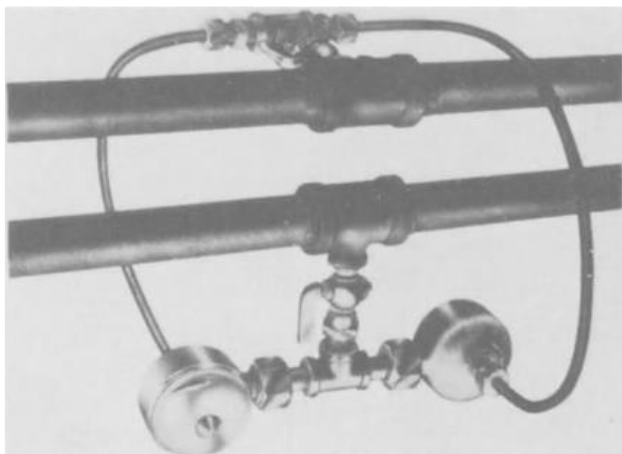
رطوبت زن‌های الکتریکی که در بالا نصب می‌شوند برای توزیع بخار از فن استفاده می‌کنند تا آب را به صورت گریز از مرکز اتمیزه بکنند. در آن‌ها، آب از وسط به دیسک‌های عمودی دوار پر سرعت تغذیه شده و در اثر چرخش به تنگ مه تبدیل شده و توسط فن‌های پروانه‌ای به صورت افقی پرتاب می‌شوند. دیسک و فن توسط یک موتور می‌چرخند. در رطوبت زن‌های دارای دیسک افقی، فن یا جریان شعاعی هوا موجب پخش افقی بخار، توسط خود دیسک، در تمام جهات می‌شوند (به شکل ۲ این فصل مراجعه کنید).

آن رطوبت زن‌ها کمپرسور هوا نداشته و مشکل گرفتگی شیپوره ندارند و در تعداد کم و با فاصله بیشتر از هم، نسبت به اتمایزهای پنوماتیکی، بهتر کار می‌کنند. به صورت معمول آن‌ها با گردش هوا به صورت پیوسته کار کرده و شیرهای برقی، تا حد رطوبت لازم برای اتاق، آب تغذیه می‌کنند. مدل‌های عادی دارای موتور یک چهارم اسب بوده و بیش از ۲۵۰۰ cfm ($1/2 \text{ m}^3/\text{s}$) هوا را گردش داده و در هر ساعت بیش از ۶۵ پوند ($29/5 \text{ kg}$) آب را تبخیر می‌کنند (به شکل ۳ این فصل مراجعه کنید).

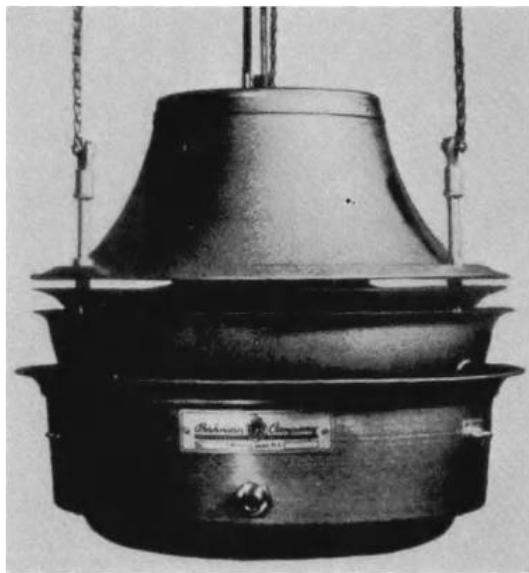
هیچ سیستمی نمی‌تواند در اتاق‌های بزرگ رطوبت یکنواختی ایجاد کند. هر دو سیستم، بین مناطق دارای چگالی کمتر، با نقاط خشک نزدیک منابع گرما (مثل موتورهای بزرگ) و دیوارهای سمت باد که هوای بیرون از آن نفوذ می‌کند، به صورت موضعی تمرکز رطوبت ایجاد می‌کنند. البته آن‌ها ارزان بوده، به سادگی نصب شده، بسیار انعطاف پذیر بوده و به کانال احتیاج ندارند. با توجه به سادگی وسیله، یک وسیله رطوبت‌ساز^۱ (هیومیدیستات) به همراه شیر می‌تواند یک سالن بزرگ کارخانه نساجی را کنترل کند.

کانال‌های مرطوب

سیستم‌های پیچیده‌تر رطوبت‌زن مستقیم، از کانال‌های مرطوبی استفاده می‌کنند که یک کانال واقع در ارتفاع با چندین دهانه خروجی بزرگ است که هوای مرطوب را از رطوبت‌زن‌های نیمه مرکزی سقفی پر ظرفیتی انتقال می‌دهند که دارای فن‌های محوری بزرگی هستند که فشار استاتیک قابل ملاحظه‌ای را ایجاد می‌کنند. این سیستم، که معمولاً دارای چندین افشاننده گریز از مرکز یا ضربه‌ای است هوای سالن را به درون کشیده و از طریق کانال‌هایی که در عرض یا طول سقف سالن‌های کار امتداد داشته و به صورت سوراخ‌دار یا دارای چندین دهانه خروجی است و فوران‌های موازی هوای مرطوب را در یک ناحیه بزرگ می‌فرستد، این هوا را مرطوب و گردش می‌دهد.



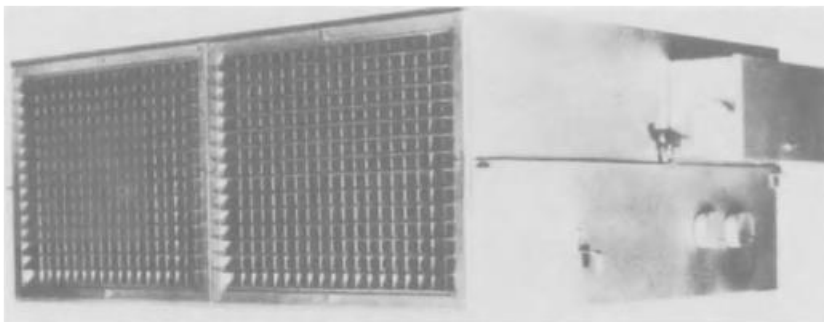
شکل ۱- تمایزهای پنوماتیک سنتی کارخانجات نساجی که در ابتدا فقط برای رطوبت‌زنی استفاده می‌شد و بعدها در سرمایه‌ش تبخیری بدون کانال مورد استفاده قرار گرفت. این وسیله روی لوله‌های آب و هوای فشرده نصب شده و جهت پوشش یکنواخت و با تمرکز بر منابع گرمای داخلی یا هوای بیرون، در سالن‌های کارخانه نساجی پخش می‌شوند. ارتفاع آن‌ها بهتر است در جایی باشد که قبل از لمس ماشین یا کارگر اجازه دهد تا تمام تنک مه تبخیر شود.



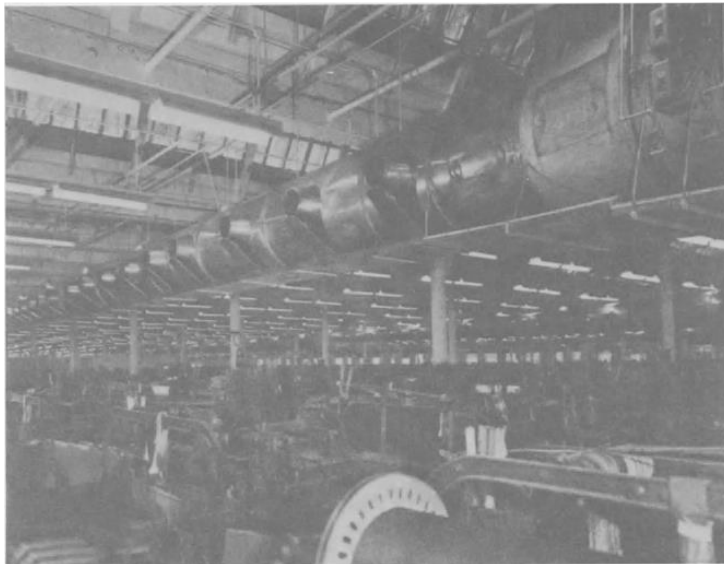
شکل ۲- یک رطوبت‌زن گریز از مرکز برقی. در این دستگاه قطرات آب بر روی یک دیسک دوار پر سرعت فرو ریخته و در اثر گردش آن را به صورت تنک مه خارج می‌سازد. جریان شعاعی هوای دیسک، تنک مه را به طور یکنواخت در تمام جهات پخش می‌کند. یک نوع مشابه دارای فنی است که تنک مه را در یک جهت، مثل گوشه سالن یا بر فراز موتورهای الکتریکی یا ماشین‌آلات داغ، می‌دمد.

معمولاً کنترل کانال‌های مرطوب دقیق بوده، گرفتگی شیپوره در آن منتفی بوده، در استفاده از اتمایزر، رطوبت‌زن، لوله‌کشی و سیم‌کشی صرفه‌جویی شده و بدون هیچ‌گونه خطری مبنی بر پاشش قطرات بر روی منطقه کاری، تمام هوای سالن را گردش می‌دهد. البته لازم است فیلترهای ورودی هوای سالن به صورت متناوب پاک شوند تا از تجمع پرز در افشاننده، فن و کانال جلوگیری شود (به شکل ۴ این فصل مراجعه کنید).

وقتی گرمای داخلی بزرگ موتورها و ماشین‌آلات در تقابل با رطوبت بالا است، اغلب سیستم کانال مرطوب طوری تنظیم می‌شود که تنک مه فوق اشباع (ونه خشک) تحویل داده و هوا را اشباع کند. قبل از این که رطوبت اطراف کاهش یابد، گرما باید موجب تبخیر این تنک مه شود.



شکل ۳- یک رطوبت‌زن و گردش‌دهنده کامل برای سالن‌های خاص کارخانه نساجی. ماهیت کاری بسیاری از کارخانجات نساجی و تنوع نخ‌های طبیعی و مصنوعی مورد استفاده ایجاب می‌کند که به سرعت و سهولت از سالی به سالن دیگر رطوبت تغییر کند. این رطوبت‌زن‌ها مساحت بزرگی داشته و حاوی فیلترهایی جهت جلوگیری از گرفتگی توسط پرزهای معلق در هوا هستند.



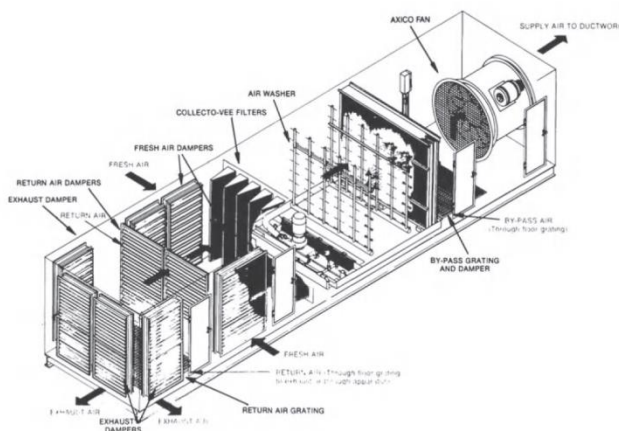
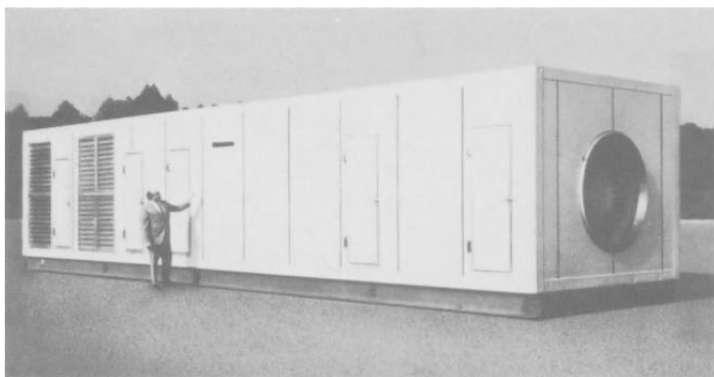
شکل ۴- در یک کارخانه نساجی سنتی، کانال‌های مرطوب‌هوای شسته شده را از هواسازهای داخلی توزیع می‌کنند. آن‌ها دارای فن‌های محوری و دریچه‌های موتور هستند که در هنگامی که ترموستات دریابد که به سرمایه‌ش هوا نیاز است، هوای بیرون را وارد می‌کند. در غیر این صورت، هوای سالن از طریق دریچه‌های مشبک کشیده شده تا پرزهای معلق را حذف کند. در گرم‌ترین آب و هوا، کانال‌های مرطوب توسط تنک مه تبخیر نشده که تا هنگام تبخیر در دمای آسایش هستند، قادر به فوق‌اشباع کردن هوای سالن هستند.

به دلیل سطح صدای بالای ماشین‌آلات نساجی، کمتر این تجهیزات برای یک کارکرد بی صدا طراحی می‌شوند، در نتیجه فن‌های محوری و پروانه‌ای رایج بوده و دمنده‌های گریز از مرکز نیز در کانال‌های طویل استفاده می‌شوند.

رطوبت‌زنی غیر مستقیم

سیستم‌های غیر مستقیم، که معمولاً سیستم‌های ایستگاهی مرکزی نامیده می‌شوند، هوا را در هواساز-های بزرگ یا کولرهای با ماده واسط صلب اشباع کرده (به فصول ۱۱ و ۱۲ مراجعه کنید) و از فن‌های بزرگ و کانال برای تحویل هوای نزدیک به اشباع به سالن‌های کاری مختلف بهره می‌گیرند. هواسازهای ایستگاهی مرکزی معمولاً در پشت بام، زیر سقف یا اتاق‌های واقع در پشت بام واقع شده و اغلب به جای افشانه‌های پمپ شده از افشانه‌های گریز از مرکز بهره گرفته و ضمن اندازه و مصرف آب کمتر، عملکرد مشابهی دارند. در صورتی که کانال کوتاه باشد از فن‌های محوری استفاده شده، در غیر این صورت برای ارسال حجم‌های بالای هوا به فن‌های گریز از مرکز نیاز است.

ایستگاه های مرکزی دارای کنترل آسان با حداقل لوله کشی، سیم کشی و تعمیر و نگهداری بوده ولی تمایل دارند که تمام سالن ها را به صورت یکسان مرطوب کنند (به شکل ۵ این فصل مراجعه کنید). برای حصول نیازهای فرآیندهای مختلف، ممکن است لازم باشد تا توسط رطوبت زن های درون سالن، هوای کانال به آماده سازی بیشتری نیاز داشته باشد. همچنین از آن جا که گردش هوای کافی در سالن ها مستلزم جریان هوای شسته شده بزرگی است، کانال ها تمایل دارند که بزرگ و در نتیجه گران بوده و هزینه برق فن ها نیز به طور مشابه بالا است. به علاوه، همچون سیستم های کانال مرطوب، ورودی های هوای سالن به فیلترهای پرزگیر اغلب خود تمیز شونده بزرگی نیاز دارند. شاید هواسازهای با صفحات قطره گیر ورودی مستغرق که تمام ذرات معلق در هوا را شسته و به تله می اندازند بهترین باشند، ولی آن ها نیز دارای معضل قیمت کارکرد هستند (به فصل ۱۱ مراجعه کنید).



شکل ۵-دستگاه های گرمایش-سرمایش ایستگاهی مرکزی با نام تجاری Flakt که به صورت مدول های انتخابی بوده تا متناسب با هر هدف صنعتی کار کنند. در شکل بالا، ۱۰ مدول سوار شده دارای ورودی هوا و عملکرد اختلاط در قسمت عقب بوده و خروجی هوا از جلو و در سمت راست قرار دارد. مقطع مدل Flakt نیز قابل مشاهده است. به دمپره های خلاقانه

واقع در سمت ورودی هوا در سمت چپ-پایین، فیلترهای پرزگیر V شکل و غبارگیر در مرکز و هوا شوی نوع افشانه‌ای واقع در پشت آن توجه کنید. در سمت راست-بالا یک فن محوری تغذیه کننده مشاهده می‌شود که به دلیل کنترل ساده تر جریان هوا، بر نوع گریز از مرکز ترجیح داشته و صدای بالای آن نیز تحت تاثیر سر و صدای ماشین‌آلات نساجی قرار دارد.

در مورد تمام سیستم‌های رطوبت‌زن، عمل "تعریق" بر روی لوله‌های آب و برخی کانال‌های هوای مرطوب رخ می‌دهد. بارهای گرمایی داخلی و رطوبت بالا موجب افزایش غیر عادی نقطه شبنم هوای داخلی شده و در نتیجه آب شهری که در داخل لوله‌ها از میان سالن‌های کار می‌گذرد باید اغلب گرم‌تر بوده تا از چگالش و چکیدن جلوگیری شود. ممکن است لازم باشد، کانال‌هایی که هوای سرمایش برودتی یا تبخیری را ارسال می‌کنند، دارای سطح مقطع مدور با مجاری تخلیه آب چگالیده، در زیر خود باشند.

مصرف توان اتمیزه‌سازی

همان گونه که قبلاً ذکر شد، آب چسبنده بوده و در برابر خرد شدن مقاوم است، در نتیجه برای اتمیزه کردن آن جهت تبخیر به توان زیادی نیاز دارد. هزینه تجهیزات و توان (برق) افشاننده‌های پنوماتیک از همه بالاتر است. تراکم هوا موجب ایجاد گرمای زائد در موتور محرک و کمپرسور می‌شود. خوشبختانه آن‌ها اغلب در بیرون فضای رطوبت‌زنی شده قرار دارند. رطوبت‌زن‌های برقی، به ازای هر پوند آب تبخیر شده، گرمای کمی تولید می‌کنند ولی این گرما را به هوای داخل داده و در نتیجه تا حدودی مشکلات رطوبت‌زنی را افزایش می‌دهند.

در مقابل، سطوح دارای خاصیت موینگی پدهای خیس و مواد واسط صلب (فصل ۱۳) به سادگی و ارزانی آب را تبخیر می‌کنند. آبی که به بالای پدها و مواد واسط صلب داده می‌شود، آن‌ها را خیس کرده و به پایین می‌چکد. عمل موینگی موجب گسترش لایه‌ای آب در سطح وسیعی می‌شود که در معرض هوای متحرک قرار داشته که به ارزانی موجب تبخیر آن می‌شود.

تبدیل به سرمایش تبخیری

در طی یک رویداد میمون، رطوبت‌زن‌های کارخانجات نساجی مقدماتی را می‌توان به سادگی برای سرمایش تبخیری تبدیل کرد. اما این گونه تبدیلات تنها هنگامی صورت می‌گیرد که تابستان‌های داغی سپری شده باشد.

اساساً کارخانجات نساجی که به صورت مکانیکی مرطوب می‌شوند در برابر هوارسانی درزبندی می‌شوند، در نتیجه رطوبتی تلف نمی‌شود. تقریباً شرایط کاری طاقت‌فرسای حاصل از دمای بیش از F

۹۰ (۳۲/۲ C) و رطوبت نسبی ۸۰٪ رایج است. به تدریج با افزایش ظرفیت رطوبت‌زنی، به علاوه گردش‌دهی هوا توسط فن، می‌توان پنجره‌های رو به باد مطلوب را باز کرده و در اثر رسیدن هوای بیرون به رطوبت‌زن‌ها، موجب سرمایش تبخیری شد. این کار مستلزم کنترل دستی دقیق بوده ولی کارکنان را خرسند و قدردان می‌سازد.

در ۱۹۳۰، یک کارخانه ریسندگی پنبه در کارولینای جنوبی، سیستم سرمایش تبخیری "تعویض کننده هوا" یا "بدون کانال" را ایجاد کرد که طی آن، هوا عمده‌آز میان سالن‌های کاری دمیده می‌شد تا آب اتمیزه شده را تبخیر کند. فن‌های پروانه‌ای نصب شده در پنجره‌ها، در هنگام نیاز به سرمایش، هوا را وارد کرده و رطوبت‌سازهای موجود و رطوبت‌زن‌های واقع در بالای سر نیز رطوبت مطلوب را حفظ می‌کردند. هر ۱۲ پوند (۵/۴ kg) آب تبخیر شده در ساعت، موجب ۱۲,۶۰۰ Btu (۱۳/۲۹ kJ) سرمایش محسوس می‌شود.

در این کارخانه، هوای سرد شده به سرعت در داخل گردش کرده و با جذب گرما از طریق دریچه‌های هواکش کرکره‌ای یا اگزوزفن آن را به خارج انتقال می‌داد. آسایش کارکنان به صورت قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته و تلاطم شدید هوای داخل که توسط فن‌های بدون کانال ایجاد می‌شد موجب تقویت توزیع رطوبت می‌گشت. در این روش، هزینه اضافی و آب مصرفی بسیار بیشتر از بازگشت سرمایه بود. پس از آن، مهندسان نساجی و اتحادیه کارگران نساجی آمریکا برای ایجاد سرمایش مشابه در سایر کارخانجات نساجی فشار آوردند. این سرمایش که در آن از اتمایزرها و رطوبت‌زن‌های موجود استفاده می‌شد بسیار اقتصادی بوده و به سرعت رشد یافت.

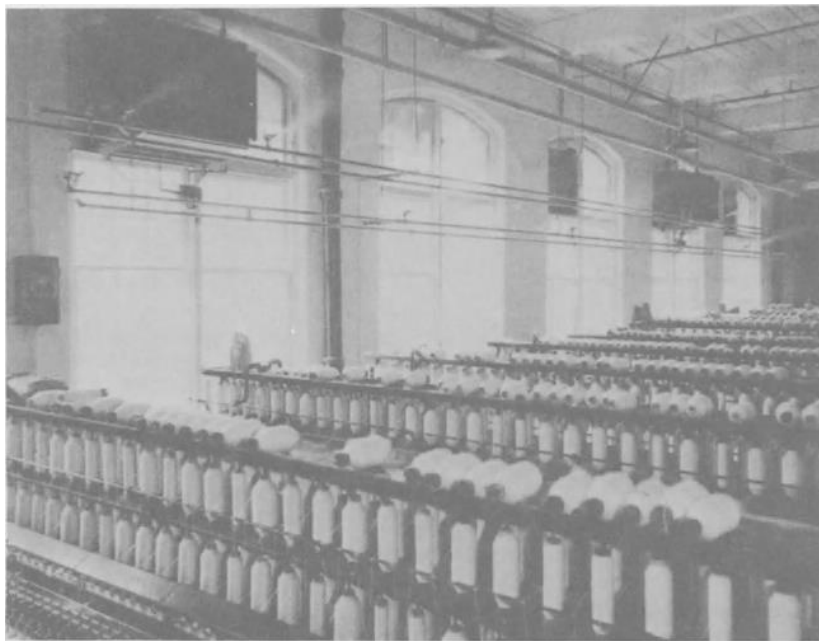
سپس بهبودهایی مشاهده شد. در این زمان، فن‌های مکنده در برخی پنجره‌ها به صورت متناوب دارای دریچه‌های ورودی خودکار بوده تا تنها هنگامی هوای بیرونی را وارد کنند که قرار است موجب سرمایش شود. در سایر زمان‌ها، برای حفظ رطوبت، این فن‌ها هوای داخل را گردش داده و سرعت کافی را برای آسایش انسان و تنظیم تمرکز رطوبت موضعی حفظ می‌کنند. مناطق بدون پنجره، هوا را از طریق فن‌هایی دریافت می‌کنند که هوا را از پشت بام یا کانال‌های زیرین دریافت می‌کنند. برای سرمایش بهتر هوای ورودی، در اطراف خروجی هر فن پنجره‌ای، اتمایزرهای اضافی نصب می‌شود (به شکل ۶ این فصل مراجعه کنید).

پنجره‌های اطراف اتاق‌های کار، دارای مجراهای تهویه خروجی به سمت بیرون هستند. با ورود هوای تازه توسط فن‌ها، این مجراها هوای شسته شده حاوی گرما را به بیرون منتقل می‌کنند. فن‌های کمکی اغلب در بالای منبع اصلی گرما (مثل مجموعه الکتروموتورها) واقع می‌شوند. نورگیرهای سقفی نیز به عنوان مجرای تهویه عمل می‌کنند.

این سیستم‌های بدون کانال در ایجاد سر و صدای داخلی مشارکت داشته و با مسدود کردن بسیاری از پنجره‌ها موجب مصرف توان بیشتری می‌شوند. البته، آن‌ها سیستم‌های رطوبت‌زن مستقیم قدیمی را به سرمایه‌ش تبخیری قابل قبول تبدیل کرده که به صورت قابل ملاحظه‌ای به نفع کارگران بوده و در مقایسه با هزینه‌های تبدیل، بهره‌وری تولید افزایش بیشتری پیدا می‌کند.

سرمایش کانال مرطوب

سیستم‌های کانال مرطوب نیز تبدیل می‌شوند. این کانال‌های بالاسری بزرگ، دارای دهانه‌های خروجی متعدد، حاوی افشانه و فن‌های محوری با قطع‌کن خودکار بوده تا در هنگام نیاز به سرمایش هوای بیرون را وارد کرده و در هنگام عدم نیاز به سرمایش هوای سالن را به گردش در آورده و وسایل کنترل رطوبت (هیومیدیسات) نیز سطح رطوبت را کنترل می‌کنند. این سیستم‌ها موجب حذف فن‌های مکنده متعدد سیستم‌های بدون کانال شده ولی به اگزوزفن‌ها یا مجاری تهویه نزدیک به همی نیاز دارند تا هوای شسته شده استفاده شده را خارج سازد. سیستم‌های کانال مرطوب می‌توانند از طریق فوق اشباع کردن هوا توسط قطرات تبخیر نشده مه یا تنک مه، در حجم هوا صرفه جویی کند. این سیستم مستلزم پودرسازی بسیار ریز آب، کانال‌های مستقیم نسبتاً کوتاه و سرعت‌های متوسط است.



شکل ۶- سرمایه‌ش بدون کانال یک کارخانه نساجی سنتی که برای ۵۰ سال در کارخانجات ریسندگی و بافندگی رواج داشت. به فن‌های پروانه‌ای پنجره‌ای که هوای بیرون را به داخل می‌کشند و اتمایزرهای آب مجزایی که موجب مرطوب و

خنک‌سازی این هوا می‌شوند توجه کنید. با استفاده از وسایل کنترل رطوبت، اتمایزرها بر حسب نوع الیاف در حال فرآوری، رطوبت را در حد تنظیمی حفظ می‌کنند. به منظور تبخیر افشانه و حفظ دمای آسایش، فن‌ها دارای سیکل روشن و خاموش بوده یا سرعت آن‌ها تغییر می‌کند. این اولین تهویه مطبوع صنعتی در مقیاس بزرگ بود.

سرمایش کانال خشک

یک گونه از کانال‌های مرطوب که به نام سیستم "کانال خشک" نامیده می‌شود، هیچ استفاده‌ای از فن‌های مکند پنجره‌ای نمی‌کند. در عوض، این سیستم هوای بیرون یا داخل را بر حسب نیاز مکیده و آن را از طریق کانال‌های بالاسری دارای دهانه‌های خروجی افقی متعدد تخلیه می‌کند. اتمایزرها بالای هر دهانه، موجب سرمایش و رطوبت‌زنی هر جریان هوای ورودی سالن می‌شود. همچون کانال‌های مرطوب، فن‌های مرطوب سرعت بالایی را ایجاد می‌کنند تا هوای گردشی را مکیده و همزمان هوای شسته شده، از طریق مجراهای تهویه یا فن‌ها به بیرون می‌رود.

با استفاده از وسیله کنترل رطوبت، میزان رطوبت مطلوب کنترل می‌شود. این وسایل در صورت لزوم اتمایزرها را به کار انداخته و همزمان با کنترل دما نسبت هوای تازه ورودی تنظیم می‌شود. در صورت نیاز به سرمایش، هوای جدید آزادانه وارد شده و اتمایزرها سریعاً آن را خنک می‌کنند. در صورت عدم نیاز به سرمایش، هوای جدید دور نگه داشته شده و کانال‌های خشک تنها هوای کهنه را، تا هنگامی که گرمای آن به حد کاری برسد، گردش می‌دهد.

سیستم‌های مستقیم فوق به خوبی مقدار زیادی بار گرمایی را در سالن‌های بزرگ کارخانه نساجی رفع می‌کنند. علاوه بر داشتن پنجره‌های در معرض نور خورشید و سقف‌های عایق نشده، این سالن‌ها معمولاً حاوی الکتروموتورهای با توان بیش از ۱۰۰۰ اسب بخار هستند که $3,400,000 \text{ Btu/hr}$ (۳۵۷۸) بار گرمایی داخلی را ایجاد می‌کنند. از آنجا که هر Btu ، هوای شسته شده ورودی را ۴ درجه فارنهایت در هر پوند ($1/0^\circ\text{C/kg}$) گرم می‌کند، در نتیجه برای پایین نگه داشتن دما و بالا نگه داشتن رطوبت نسبی به جریان هوای بزرگی نیاز است. این امر به خصوص در سالن‌های بافندگی، که به رطوبت نسبی ۶۵ تا ۸۵ درصد نیاز است، صحت داشته ولی بار الکتروموتورها بسیار زیاد می‌شود.

کارخانجات نساجی جدیدتر که به سیستم‌های بدون کانال قدیمی مجهز نیستند، اغلب در بام یا در دیوار یا پنجره‌های خود از کولرهای آبی، آبی-پرتابی یا با پد افشانه‌ای استفاده می‌کنند. این سیستم‌ها، در صورت عدم دسترسی به هوای داخل، تنها برای سرمایش عمل می‌کنند. در زمستان‌ها باید رطوبت-زن‌های داخلی رطوبت لازم را حفظ کنند. با فرسودگی سیستم‌های بدون کانال قدیمی، بسیار از کارخانجات قدیمی از این نوع سرمایش استفاده می‌کنند (به شکل ۷ این فصل مراجعه کنید).

دارهای پارچه‌بافی جدید

دو دار پارچه‌بافی جدید موجب کاهش نیاز به رطوبت شده‌اند. در اینجا به جای ماکوهای^۱ سنتی، فوران آب یا هوا از عرض، به الیاف تار یا پود دمیده شده و موجب کاهش لرزش و اصطکاک شده و در عین حال سر و صدا و ارتعاش در سالن بافندگی را کاهش می‌دهد. دارهای دارای فوران آب می‌توانند نیاز سالن به رطوبت را مرتفع کنند. البته همچنان به سرمایه‌ش سالن نیاز است.

منسوجات جدید

وقتی جنس منسوج تنها مستلزم رطوبت بالا است، سیستم‌های سرمایه‌ش بدون کانال، کانال مرطوب، کانال خشک، آبی، آبی-پرتابی و با پد افشانه‌ای عملکرد مطلوبی دارند. این سیستم‌ها دارای رطوبت و سرمایه‌ش قابل قبولی هستند.

البته استفاده روزافزون از الیاف مصنوعی مثل استات، رایون، ویسکوز، نایلن و از این قبیل مستلزم رطوبت کمتر ولی کنترل شده‌تری هستند. در سال‌های اخیر، کارخانجات نساجی بزرگ بیشتری از روش سرمایه‌ش ایستگاهی مرکزی استفاده کرده و از هواساز یا کولرهای با ماده واسط صلبی، که اغلب به کویل‌های برودتی و گرمایشی جهت کنترل دقیق‌تر رطوبت مجهز هستند، استفاده می‌کنند.

سرمایش تبخیری ایستگاهی مرکزی

رطوبت‌زنی غیرمستقیم از ایستگاه‌های مرکزی موجب سرمایه‌ش نیز می‌شود. به صورت تاریخی آن‌ها دارای هواسازهای با محفظه‌های پاشش بزرگی هستند که هوای بسیار اشباع را به دمنده‌ها و سیستم‌های کانال بزرگ تحویل می‌دهند. اندازه و قیمت‌های اولیه، نگهداری و پمپاژ آن‌ها جالب توجه بوده در نتیجه امروزه استفاده روزافزونی از سیستم‌های مرکزی با ماده واسط صلب می‌شود.



شکل ۷- ردیف کولرهای آبی-پرتابی با نام تجاری Alton در کارخانه کشفافی جورجیا، بسیاری از کارخانجات نساجی که پس از سرمایه‌ش بدون کانال ساخته شده یا دارای سیستم‌های قدیمی خارج از رده هستند، کولرهای آماده (پکیج) را نصب می‌کنند. در اینجا ۱۴ کولر آبی-پرتابی در پنجره‌های مختلف کار می‌کنند. در زمستان اغلب این کولرها خاموش بوده در حالی که لازم است رطوبت‌زن‌های داخلی فعال باشند.

ایستگاه‌های مرکزی به طرق مختلف دارای کنترل دما و رطوبت هستند. در برخی از آن‌ها، بسته به نیاز دمایی، دمپرهای خودکار هوای بیرون یا هوای برگشتی از اتاق‌های کاری را به کولر تغذیه می‌کنند. در برخی انواع هواساز، حجم افشانه به صورت خودکار تعدیل می‌شود تا در هوای خروجی کانال کشی شده به اتاق‌های کاری، رطوبت ثابتی را ایجاد کند. البته اغلب، دمپرهایی که هوا را از اطراف افشانه‌ها یا ماده واسط خیس به صورت کنارگذر عبور می‌دهند، بر رطوبت خروجی حاکم هستند (به شکل ۸ این فصل مراجعه کنید).

سیستم‌های ایستگاهی مرکزی، تنها به ندرت هوای شسته شده کافی را هم جهت سرمایه‌ش سالن‌های بزرگ کارخانه نساجی و هم حفظ رطوبت کافی در آن‌ها تامین می‌کنند. همچنین، این سیستم‌ها تنها هوای شسته شده در یک میزان رطوبت را تحویل داده در حالی که بسته به فرآیند نساجی، رطوبت‌های نسبی داخلی باید از سالنی به سالن دیگر تغییر کند.

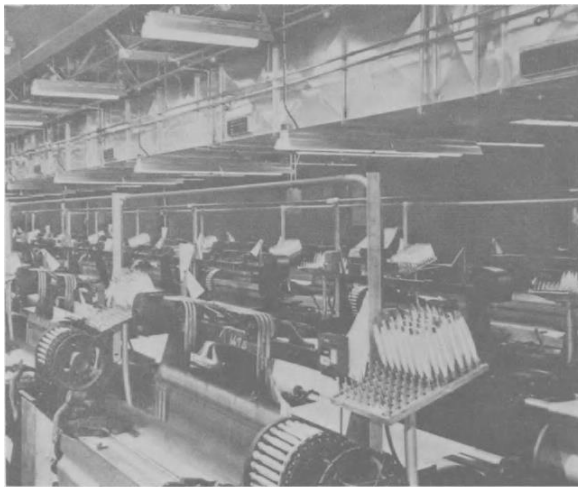
برای رفع این نقصان، بسیاری از ایستگاه‌های مرکزی به صورت "سیستم‌های تقسیم شده (اسپلیت)" به همراه رطوبت‌زن‌های اتاقی کار می‌کنند. هوای شسته شده غیر مستقیم کانال کشی شده، رطوبت اضافی مورد نیاز توسط اتمایزرها یا رطوبت‌زن‌های دستگاهی درون سالن‌ها را می‌دهد؛ در نتیجه

سالن‌های مختلف در هر زمان رطوبت مورد نیاز خود را دارند. وقتی جریان کانال ناکافی است، سالن‌ها می‌توانند آن را با هوای دارای رطوبت ۹ تا 13 grain/lb ($1/3$) تا $1/9 \text{ gr/kg}$ فوق اشباع کنند. تبخیر این رطوبت اضافی، گرمای اضافی سالن را جذب کرده تا احتیاجات جریان هوا از ایستگاه مرکزی را تا ۶۷ درصد تقلیل داده و در سرمایه‌گذاری برای فن و کانال به همراه هزینه برق صرفه جویی شود. حتی اگر میانگین دما بالاتر از جریان هوای پرکننده باشد نیز رطوبت سالن بالا باقی می‌ماند (به شکل ۹ این فصل مراجعه کنید).

عملکرد سرمایه‌ش

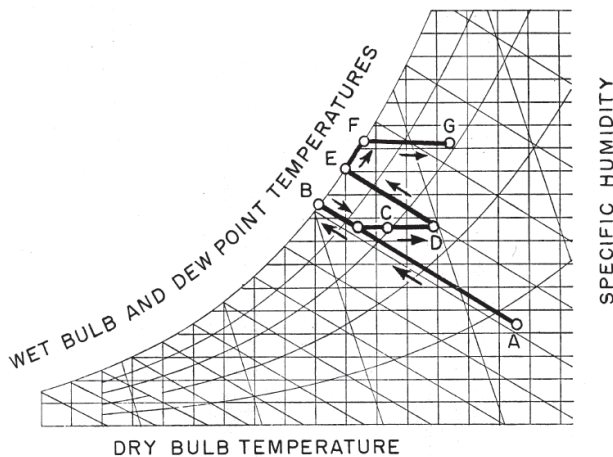
تمام عملکرد سرمایه‌ش تبخیری مستقیم به صورت معکوس با رطوبت نسبی بیرون تغییر کرده و کمترین دمای هوای قابل حصول با دمای مرطوب بیرون تغییر کرده و به آن نزدیک می‌شود. در کارخانجات نساجی یک متغیر قطعی نیز وجود دارد: رطوبت داخلی برای فرآیند مورد نظر. بنابراین، دمای هوا بر اساس دمای مرطوب هوای بیرون و رطوبت نسبی داخلی تعیین می‌شود. این تاثیر دوگانه موجب الزام به دمای داخلی بالاتری نسبت به حالت مورد نظر می‌شود.

در مورد برخی الیاف مصنوعی، ایجاد رطوبت پایین مورد نیاز آن‌ها در برخی شرایط آب و هوایی بسیار ضروری‌تر از دماهای مطلوب است. بالا بردن دما موجب کاهش شکنندگی شده و لزوماً یک معضل برای ماده محسوب نمی‌شود؛ هر چند قابلیت تولید انسان نیز به مخاطره می‌افتد. در نتیجه برای تکمیل سرمایه‌ش تبخیری در برخی از روزها از سرمایه‌ش برودتی استفاده می‌شود.



شکل ۸- یک کانال کارخانه نساجی که هوای ایستگاه مرکزی را از طریق دهانه‌های خروجی بالاسری هم فاصله توزیع می‌کند. بسته به آب و هوا، هوای توزیعی می‌تواند از طریق بادرسانی بوده یا هوای شسته شده و یا هوای خنک شده به

طریق برودتی باشد. انواع الیاف طبیعی و مصنوعی که در حال حاضر رسییده یا بافته می‌شوند هر یک دارای رطوبت و دمای لازمی هستند که مستلزم گستره‌ای از تهویه مطبوع هستند که ایستگاه‌های سرمایش مرکزی خروجی بهتری داشته ولی ممکن است دارای مقداری ناهماهنگی باشند. به تمایزهای بالای دهانه‌های خروجی توجه کنید، که به منظور تطابق بهتر با هوای مورد نیاز اتاق، که ممکن است برای یک الیاف به رطوبت بیشتر و برای دیگری به دمای کمتر نیاز باشد، هوای شسته شده را به حالت فوق اشباع می‌رسانند.



شکل ۹- سرمایش تبخیری مستقیم دو مرحله‌ای کارخانه نساجی. در اینجا، حالت نقطه A معرف هوای ورودی هواساز تجاری ایستگاه مرکزی کارخانه نساجی است. نقطه B معرف دمای مرطوب هوای ورودی و خط AB معرف مسیر فرآیند اشباع آدیاباتیک است که به دلیل گردش مجدد با افشانه آب، دقیقاً روی این خط انجام می‌شود. اغلب آب در انتالپی ثابت از A تا B خنک و مرطوب شده ولی بخشی از آن از خیس شدن فرار کرده و در حالت A باقی می‌ماند. این دو بخش مخلوط شده و هوای شسته شده‌ای با شرایط بینابین را تولید می‌کنند که وارد فن شده و به صورت محسوس تا نقطه C گرم شده، سپس وارد کانال شده و گرمای محسوس بیشتری را تا نقطه D جذب می‌کند. در نقطه D هوای شسته شده از میان یک ابر از قطرات ریز افشانه، تخلیه می‌شود. این امر موجب سرمایش و مرطوب شدن آن به صورت آدیاباتیک تا E شده و گرمای اتاق با تبخیر تنک مه معلق، انتالپی را تا F افزایش می‌دهد. در اینجا، آخرین قطرات تبخیر شده و فوق اشباع شدن خاتمه می‌یابد. دریافت حرارت بیشتر از F تا G رخ داده که طی آن هوا با جذب گرما به خارج تخلیه می‌شود.

در غیاب سرمایش برودتی، دمای داخل را می‌توان از رابطه تقریبی زیر تخمین زد. این رابطه نشان می‌دهد که هر چه رطوبت میانگین داخلی مورد نظر بالاتر باشد، دمای داخل پایین‌تر است.

دمای داخل		رطوبت نسبی اتاق (%)
C	F	
۱۰/۰	۱۸	۵۰
۹/۴	۱۷	۵۵
۸/۹	۱۶	۶۰
۸/۳	۱۵	۶۵
۷/۲	۱۳	۷۰
۶/۱	۱۱	۷۵
۵/۰	۹	۸۰
۳/۹	۷	۸۵

در کارخانجات نساجی قدیمی بدون سرمایش برودتی تکمیلی، همچون اغلب سیستم‌های سرمایش تبخیری، با ثابت نگه داشتن رطوبت داخلی، دمای داخل متناسب (ولی نه با رابطه مستقیم) با دمای مرطوب خارجی افزایش و کاهش می‌یابد. جدول ۱ این فصل پیشنهاد می‌کند که چرا علی‌رغم این که اغلب سرمایش به صورت تبخیری است، در صورت نیاز در سیستم‌های جدید از سرمایش برودتی استفاده می‌کنند.

در اینجا جایگزین سیستم برودتی به صورت افزایش جریان هوای شسته شده از میان فضای کاری و سرعت بالاتر هوا در تماس با پوست است. این امر مستلزم کولرها، فن‌ها و کانال‌های بزرگ‌تر، به همراه دهانه‌های خروجی بزرگ و با نصب دائمی است. امروزه سرمایش برودتی انتخاب ارزان‌تری است ولی افزایش قیمت برق احتمالاً باعث تغییر این دیدگاه می‌شود.

در جدول ۳ این فصل، خط پله‌ای باعث تشخیص دماهای موثری (بر اساس سرعت گردش هوا در داخل اتاق ۱۰۰ fpm) (۳۰/۵ m/min) می‌شود که موجب بازده قابل قبولی برای کارگر می‌شود. دماهای اتاق بالاتر و در سمت راست این خط توصیه نمی‌شوند (به فصل ۴ مراجعه کنید). در نتیجه به منظور جلوگیری از رسیدن دمای داخل به این شرایط دشوار، در سرمایش ایستگاهی مرکزی از کویل‌های برودتی استفاده می‌شود (به جدول ۳ این فصل مراجعه کنید).

جدول ۳. سرمایش تبخیری کارخانجات نساجی
دمای مرطوب بیرون F(C)

رطوبت نسبی اتاق	69 (20.6)	70 (21.1)	71 (21.7)	72 (22.2)	73 (22.8)	74 (23.3)	75 (23.9)	76 (24.4)	°F °C
%	Indoor Dry-Bulb Temperatures								
50	87 (30.6)	88 (31.1)	89 (31.7)	90 (32.2)	91 (32.8)	92 (33.3)	93 (33.9)	94 (34.4)	°F °C
55	86 (30.0)	87 (30.6)	88 (31.1)	89 (31.7)	90 (32.2)	91 (32.8)	92 (33.3)	93 (33.9)	
60	85 (29.4)	86 (30.0)	87 (30.6)	88 (31.1)	89 (31.7)	90 (32.2)	91 (32.8)	92 (33.3)	
65	84 (28.9)	85 (29.4)	86 (30.0)	87 (30.6)	88 (31.1)	89 (31.7)	90 (32.2)	91 (32.8)	
67.5	83 (28.3)	84 (28.9)	85 (29.4)	86 (30.0)	87 (30.6)	88 (31.1)	89 (31.7)	90 (32.2)	
70	82 (27.8)	83 (28.3)	84 (28.9)	85 (29.4)	86 (30.0)	87 (30.6)	88 (31.1)	89 (31.7)	
72.5	81 (27.2)	82 (27.8)	83 (28.3)	84 (28.9)	85 (29.4)	86 (30.0)	87 (30.6)	88 (31.1)	
75	80 (26.7)	81 (27.2)	82 (27.8)	83 (28.3)	84 (28.9)	85 (29.4)	86 (30.0)	87 (30.6)	
77.5	79 (26.1)	80 (26.7)	81 (27.2)	82 (27.8)	83 (28.3)	84 (28.9)	85 (29.4)	86 (30.0)	
80	78 (25.6)	79 (26.1)	80 (26.7)	81 (27.2)	82 (27.8)	83 (28.3)	84 (28.9)	85 (29.4)	
82.5	77 (25.0)	78 (25.6)	79 (26.1)	80 (26.7)	81 (27.2)	82 (27.8)	83 (28.3)	84 (28.9)	
85	76 (24.4)	77 (25.0)	78 (25.6)	79 (26.1)	80 (26.7)	81 (27.2)	82 (27.8)	83 (28.3)	

خط پله ای نشانگر دمای موثر ۸۰ درجه فارنهایت (۲۶/۷ درجه سانتیگراد) در طی سرعت گردش هوای درون اتاق ۱۰۰ فوت در دقیقه (۳۰/۵ متر در دقیقه) است. در بالای این خط، بازده و آسایش کارگر مختل می شود.

در حالت کلی، سیستم‌های ایستگاهی مرکزی، به ویژه در هنگام استفاده از تمام هوای تازه خارجی، کمترین و یکنواخت‌ترین دمای خشک داخل را را می‌دهند. در صورت وجود آب سرد رودخانه، دریاچه یا چاه جهت افشانه که گران قیمت نبوده، در هواساز می‌توان از آن استفاده کرد و در نتیجه سیستم برودتی منتفی می‌شود.

سیستم‌های تعویض هوای بدون کانال، با جریان فراخی از هوای بیرون، می‌تواند تقریباً نتیجه مشابهی داشته باشد. سیستم‌های اسپلیت و کانال مرطوب می‌توانند نسبت به سیستم ایستگاهی مرکزی دمای خشک بالاتر و غیر یکنواخت‌تری ایجاد کنند، ولی صرفه‌جویی اقتصادی آن‌ها بیشتر است. کولرهای آبی و آبی-پرتابی نظیر سیستم‌های بدون کانال عمل کرده ولی لازم است که در هزینه برق برای اتمیزه سازی ریز صرفه جویی شود.

مشکلات رایج سرمایه‌ش کارخانه نساجی

یک مشکل اصلی در تهویه مطبوع منسوجات، گرفتگی اتمایزرها و شیپوره‌های هواسازها توسط گرد و غبار درون هوا و پرز درون آب است. اغلب گرد و غبار ناشی از مواد درون آب است که در هنگام تبخیر افشانه پاشیده شده در هوا بر جای می‌ماند. بقیه غبار ناشی از ذرات الیاف است. در سیستم‌های اسپلیت، اغلب به منظور کاهش گرفتگی، قطر شیپوره‌های هواساز بزرگ‌تر در نظر گرفته می‌شود. این امر موجب کاهش بازده اشباع تا حدود ۹۰ درصد می‌شود. اتمایزرهای درون اتاق این افت را به ارزانی جبران می‌کنند.

مشکل دیگر کنترل پرز است. هر چند رطوبت‌زنی موجب کاهش قابل ملاحظه شکنندگی الیاف و پرزدهی آن می‌شود ولی هوای کارخانه نساجی معمولاً حاوی پرز معلقی است که خطراتی را برای سلامتی، آتش‌سوزی و تولید به همراه دارد. تجمع این پرز در کانال‌های افقی و سطوح خیس قابل توجه است.

توری‌ها و فیلترهای قابل تمیز کردن، فیلترهای خودکار خود تمیز شونده و فیلترهای تسمه‌ای متحرک موجب حفاظت از هر دو سیستم مرکزی و مستقیم می‌شوند. کامل‌ترین آن‌ها، احتمالاً هواسازهای با دیوارک‌های ورودی سیلابی هستند که تمام مواد درون هوا را گرفته و به درون تشت می‌شویند. سپس توری‌های چرخان لجن را از درون آب تشت خارج می‌کنند.

تمام این سیستم‌ها دارای عواقبی هستند. پانل‌های فیلتر دور انداختنی و تمیزشونده سریعاً بارگذاری می‌شوند، ته نشین کننده‌های الکترواستاتیک مستلزم تمیز کردن متناوب بوده و فیلترهای خود تمیز شونده می‌توانند تا حدودی دچار گرفتگی شوند. به علاوه تمام فیلترها در برابر جریان هوا مقاومت کرده و توان فن و هزینه برق آن را افزایش می‌دهند.

یک مشکل کم اهمیت‌تر، چگالش رطوبت بر روی بسیاری از کانال‌های ناقل هوای بیرون است که به تازگی اشباع یا فوق اشباع شده‌اند. در طی دماهای مرطوب هوای بیرونی، که اغلب از نقطه شبنم هوای داخلی پایین‌تر است، هوا تا دمای کانال‌های سرد که از نقطه شبنم خنک‌تر است خنک می‌شود. همان گونه که ذکر شد، این کانال‌ها معمولاً دارای سطح مقطع گرد بوده و دارای ناودانی خارجی برای گردآوری قطرات هستند که در سراسر طول کانال در زیر آن قرار دارد.

کنترل‌ها نیز یکی دیگر از مشکلات را تشکیل می‌دهند. به منظور کسب اطمینان از پاسخ سریع، بسیاری از وسایل کنترل رطوبت (هیومیدیستات) و ترموستات‌ها از نوع تنفسی هستند که در فواصل دقیقی در اتاق‌ها قرار گرفته و به صورت پیوسته هوا را به درون کشیده و نمونه برداری می‌کنند. ویژگی‌های الکترونیکی موجب پیگیری یا پیش‌بینی روند رطوبت می‌شود. در برخی از وسایل کنترل

رطوبت، اختلاف بین حالات روشن و خاموش تنها ۵/۰ درصد است. مکانیزم تحریک می‌تواند به صورت الکتریکی یا پنوماتیکی باشد ولی کنترل‌های تنفس گاه توسط پرز دچار گرفتگی می‌شوند.

هواسازها و تجهیزات کانال مرطوب متناوباً در هوای تخلیه شده خود، از ترموستات‌های نقطه شبم استفاده می‌کنند. این ترموستات‌ها بر روی نسبت هوای خارجی گرفته شده تاثیر داشته تا دماهای ثابتی را در خروج تضمین کنند. برای واکنش سریع‌تر، همچون شروع و انتهای شیفت‌های کاری، استفاده از وسایل اندازه‌گیری دمای مرطوب توصیه می‌شود. از آنجا که ممکن است دمپ‌های کنارگذر توسط پرز دچار گرفتگی شوند، بسیاری از هواسازها از طریق تغییر ضریب تاثیر افشانه، رطوبت را کنترل می‌کنند.

گرمایش

به طور کلی، کارخانجات نساجی به جز برخی مواضع و در خارج از زمان‌های کاری یا آخر هفته‌های فصل زمستان، مستلزم اندکی گرمایش هستند. در اغلب موارد گرمای موتور، چراغ و فرآیند کفایت می‌کند. البته، در هنگام خاموشی ناگهانی ماشینی‌آلات کارخانه که موجب برهم خوردن توازن بارها می‌شود گرمایش، به ندرت به تنظیم شرایط اتاق کمک می‌کند.

در کارخانجات نساجی قدیمی‌تر، از بخار در کویل‌های لخت یا رادیاتورهای زیر پنجره استفاده می‌شد. امروزه گرمایش به صورت مشارکتی با سیستم سرمایش است. ورودی هوای اتاق در فن‌های پنجره‌ای سیستم بدون کانال و سیستم‌های مستقیم کانال‌دار اغلب حاوی کویل‌های بخار در پشت فیلترها است. ممکن است برخی مناطق دارای فوران‌های بخار بالاسری یا یونیت هیتر باشند. کویل‌های پره‌داری که در کانال‌های سرمایش جا داده شده‌اند می‌توانند گرما ایجاد کنند ولی ممکن است توسط پرز دچار گرفتگی شوند، در نتیجه کویل‌های بخار لوله‌ای لخت واقع در افشانه هواساز یا تشت‌های آب با ماده واسط صلب ترجیح دارند. آن‌ها بدون خطر گرفتگی آب را گرم کرده و آب نیز هوا را گرم می‌کند.

کارخانجات نساجی تکمیل کننده

کارخانجات نساجی که در بالا مورد بحث قرار گرفتند اساساً نخ‌ریسی کرده و پارچه بافی می‌کنند. در صنعت به این کارخانجات "مقدماتی" می‌گویند تا از کارخانجات نساجی تکمیل کننده، که ده‌ها فرآیند کاملاً متفاوت انجام می‌دهند متمایز شوند.

در کارخانجات نساجی تکمیل کننده، پارچه خام کارخانه مقدماتی شسته شده، رنگ شده، خشک شده و عملیات حرارتی می‌شود تا رنگ تثبیت شود. تمام این فرآیندها مستلزم گرما، آب یا مواد

شیمیایی هستند. ممکن است پارچه چروک شده، آب رفته، رنگبری شده، آهارزنی شده، خشک شده، غلتک‌زنی شده، بخار یا گرمادهی شده و پرداخت شود. ممکن است مواد تکمیلی رزینی افزوده شده، طرح‌های برجسته روی پارچه پرس شده یا طرح‌های رنگی چاپ شود. علاوه بر آن فرآیندهای ورقه کردن، اتوکشی، تا زدن و ... نیز انجام می‌شود.

پارچه پس از بافت دیگر نیازی به رطوبت اضافی ندارد در نتیجه ممکن است کارخانجات نساجی تکمیل کننده، برای دفع آن به همراه بخارات، دود و بوی ناشی از فرآیندهای فوق به علاوه گرما، غبار و پرز مقابله کنند. به جای حفاظت از استحکام نخ، از سرمایش و هوارسانی بیشتر می‌توان برای حفاظت از محصولات و کارگران استفاده کرد.

کارخانجات نساجی مقدماتی دارای سیستم‌های خلاقانه‌ای برای تحویل صحیح هوای مرطوب به الیاف مورد فرآوری و هوای خنک به کارگران هستند، کارخانجات تکمیلی اغلب دارای یک تخلیه قابل ملاحظه برای هوای مصرفی از طریق فن‌های بالاسری بزرگ، مجراهای تهویه و پنجره‌ها بوده و اغلب از تمام فضای زیر پشت بام به عنوان فضای تخلیه استفاده می‌کنند.

تخلیه موضعی

از سوی دیگر، کارخانجات نساجی تکمیل کننده دارای گردآورنده‌های گازهای خروجی (اگزوز) کوچک-تری برای هر ماشین، فرآیند یا ایستگاه کاری بوده که گرما، بخار یا آلاینده منتشر می‌کند. سیستم‌های اگزوز (تخلیه) می‌توانند به صورت انفرادی یا گروهی و کانال‌کشی شده بوده تا موارد فوق را در مبدا خود دفع کرده و آن‌ها را به بیرون تخلیه کرده یا در صورتی که حاوی مواد ارزشمند یا مہلک است آن‌ها را گردآوری نمایند. پرزها و غبارات نیز در گردآورنده‌ها یا فیلترها به دام می‌افتند. خلاصه این که، کارخانجات نساجی تکمیل کننده سعی دارند تا گرما و آلاینده‌ها را از کارگران و محصول در حال فرآوری جدا کنند.

آن‌ها نمی‌توانند مثل سیستم هوارسانی ساده صرفاً با هوای تازه موجب رقیق‌سازی آلاینده‌ها شوند. آلاینده‌ها اغلب سمی یا خورنده هستند. همچنین در هوای معمولاً خشک‌تر کارخانجات نساجی تکمیل کننده، خطر آتش‌گیری گرد و غبار و پرز بیشتر از سایر کارخانجات نساجی است.

دفع گرمای اضافی و تمام آلاینده‌ها مستلزم سه فرآیند کامل است. ابتدا اغلب تجهیزاتاتی که گرمای خشک قابل ملاحظه‌ای منتشر می‌کنند باید عایق شده، درون ورق‌های آلومینیومی بازتابنده قرار گرفته، توسط دیوار یا پرده مجزا شده، یا گرمای آن توسط هودهای بالاسری متصل به اگزوز فن گردآوری شود.

دوم، برای دریافت بخار یا دود ناشی از فرآیندهای مرطوب یا بودار از خلاقیت زیادی استفاده می‌شود. در صورت امکان، هودهای آگروز با شکل‌های متفاوت در منبع تولید این آلاینده‌ها را جمع کرده و آن‌ها را از منطقه تنفس انسان دور کرده یا مانع از گسترش آن به سایر مناطق می‌شوند. وقتی دود از هوا سنگین‌تر است، لبه‌های سه طرف خمه رنگریزی رو باز می‌توانند دارای شکاف‌هایی برای مکش بوده تا موجب دفع دود شده و یک طرف دیگر آن نیز جهت کارگران است. وقتی دود سبک است، هودهای تخلیه به صورت مرتفع بوده و دارای لبه‌های سایبان مانندی در بالای سر هستند که توسط پرده‌هایی احاطه شده ولی جلوی آن‌ها، جهت استقرار اپراتور، باز است. همزمان، هوای جبرانی کم سرعت از پشت سر کارگر جریان یافته تا دود را با دور کردن از روی صورت به سمت هودهای گردآورنده بفشارد.

هودهای گردآورنده گرما و دود می‌توانند دارای آگروز فن مجزا در مجاور دیوار یا به صورت نصب شده در زیر یا بالای پشت بام باشند. این کار موجب حذف کانال و طراحی آن شده و بر حسب فرآورده حداکثر انعطاف‌پذیری را داشته ولی مستلزم تعداد زیادی فن و موتور است که با توجه به کوچکی در مقایسه با انواع بزرگتر دارای بازده کمی هستند. به علاوه، این رویش تکه‌ای اغلب موجب دفع حجم غیرضروری از هوای اتاق شده و مستلزم یک هوای جبرانی پر هزینه توسط سیستم‌های فن دیگر است.

در حالت ایده‌آل، اغلب گردآورنده‌های گرما و آلاینده که درون سالن‌ها قرار داشته یا با فرآیندهای مشابه به صورت مشترک عمل می‌کنند باید به صورت مهندسی بوده تا جریان حجمی آن‌ها با میزان سمی بودن هر آلاینده و الزامات هر هود بوده و سرعت آن‌ها باید چنان باشد که مانع از فرو نشستن گرما و آلاینده شده و تمام آن‌ها توسط کانال‌های با اندازه دقیق به هم متصل شده تا تلفات فشار استاتیک حداقل شود. در نهایت، آن‌ها باید از طریق دمنده‌های کارآمدی که مخلوط بارها را با حداقل هزینه برق و به همراه حداقل هوای اتاق حمل می‌کنند، عمل تخلیه را انجام دهند. چنین سیستم‌های متحدی معمولاً مستلزم این هستند که جانمایی کاری، در طی هر سال تغییر کند.

سرعت‌های مورد نیاز در گردآورنده و کانال موجب ایجاد الزامات فشار استاتیک فراتر از ظرفیت تولید فن‌های پروانه‌ای می‌شود. بنابراین دمنده‌های گریز از مرکز در سیستم کانال‌کشی متصل به هم مناسب و استاندارد بوده و همچنین سر و صدای کمتری ایجاد می‌کنند.

مهندسانی که چنین سیستم‌های تخلیه متراکمی را می‌سازند به نام "متخصصین بهداشت صنعتی"^۱ شناخته می‌شوند. آن‌ها نه تنها از سلامت انسان‌ها و کیفیت تولید مراقبت می‌کنند بلکه در صورتی

که محصولات کاملاً استاندارد بوده و کمیت آن نیز بالا است، در تعداد تجهیزات تخلیه و هزینه کارکرد آن‌ها نیز صرفه‌جویی می‌کنند.

تغذیه هوای جبرانی

سومین فرآیند، تغذیه حجم مناسب از هوای جبرانی جدید به محل کار انسان‌ها و همچنین نقاط گردآوری گرما یا آلاینده‌ها است تا به تخلیه آلاینده به درون هود و از آنجا به کانال‌ها کمک کند. به دلیل وجود فرآیندهای داغ بسیار، هوای جبرانی باید در اکثر سال، هوای شسته شده باشد.

وقتی اتاق‌ها نسبتاً کنار هم بوده و دارای چندین کارگر هستند، کل آن‌ها را می‌توان از طریق دریچه‌های هوایی که هوا را به صورت افقی در ارتفاع ۸ تا ۱۲ فوت (۲/۴ تا ۳ متر) از کف پرتاب می‌کنند از طریق سرمایش فضا خنک کرده و هوای گرم فوقانی را بر هم نزد. این امر موجب سرمایش کل منطقه کاری شده و مشابه تهویه مطبوع در ادارات، منازل و اغلب موسسات غیر صنعتی است. البته وقتی اتاق‌ها بزرگ و کارگران پراکنده بوده یا وقتی کارگران به صورت انفرادی از گرمای زیاد یا آلودگی رنج می‌برند، هوای تازه بیرون می‌تواند به صورت اقتصادی‌تری موجب سرمایش نقطه‌ای در مناطق کاری بشود. وقتی مناطق کاری دچار گرما هستند ولی دود یا آلاینده‌ای وجود ندارد، همچون سایر واحدهای صنعتی، سرمایش نقطه‌ای می‌تواند موجب جهت‌دهی هوای پر سرعت بر روی کارگران بشود (به فصل ۱۳ مراجعه کنید).

البته، وقتی در فرآیندهای کاری؛ دود، بو، گرد و غبار و پرز تولید می‌شود، سرمایش نقطه‌ای می‌تواند کم سرعت بوده و به دقت کنترل شود. این روش نباید آلاینده‌ها را به سمت کارگر یا محصول دمیده، یا موجب جریان تلاطمی در پشت آن‌ها شده یا موجب پراکنش آن‌ها شود. در عوض باید آلاینده‌ها را از افراد و محصول دور کرده و به سمت هود هدایت کند. وقتی مسیر هوای اطراف محل‌های کاری پیچیده است و گردآوری به ترتیب مزبور دشوار است، ردیابی جریان با "بمب‌های دودزا" یا حتی با اسباب‌بازی کودکانه "باب صابون" پیشنهاد می‌شود.

بیشتر از محفظه‌های هوای شسته شده استفاده می‌شود که دارای صفحات جلویی سوراخ‌داری است که جریان نرم و یکپارچه‌ای از هوا را در قالب اندام انسان در اطراف و بعد از کارگران ایجاد می‌کنند تا آلاینده‌ها را در بر گرفته و آن را به ورودی مجرای اگزوز حمل کند. به منظور اطمینان از این که تمام هوای تغذیه شده وارد گردآورنده‌های خروجی می‌شود، آن‌ها باید حداقل ۱۰ درصد ظرفیت جریان بیشتر داشته باشند. در عین حال، فقدان سرعت در این جریان‌ها، کارگران را کمتر خنک می‌کند مگر این که به صورت تبخیری یا جور دیگر خنک شوند.

احتمالاً کنترل پرزها و غبارهای آزاردهنده یا سمی، با استفاده از سقف‌های سوراخ‌داری که مستقیماً در بالای محل و کارگر قرار دارد، با استفاده از جریان نرم هوای در حال فرود به سمت دریچه‌های تخلیه واقع در ارتفاع کف، بهتر انجام می‌شود. بدین ترتیب سر و صورت کارگر در ناحیه هوای تازه فیلتر شده قرار می‌گیرد.

البته، سرمایه‌ش نقطه‌ای تنها در محل کار آسایش ایجاد کرده و مناطق بینابین گرم‌تر باقی می‌مانند. به دلایل عملی و اقتصادی این کار اجتناب‌ناپذیر است. این روش در مقایسه با روش سرمایه‌ش فضا کارگر را بهتر خنک می‌کند.

سرمایش تبخیری کارخانجات نساجی تکمیل‌کننده

بسیاری از کارخانجات نساجی تکمیل‌کننده همچنان توسط هوای تازه بیرون به طریق سنتی خنک می‌شوند. هر چند رطوبت هوای شسته شده غیر لازم است ولی ترجیح داشته و دمای داخلی را برای کارگران پایین‌تر آورده و در عین حال آلاینده‌ها را نیز می‌روبد. در صورت نیاز به سرمایه‌ش، هوای شسته شده جبرانی را می‌توان توسط هر کولر تبخیری مستقیمی، بدون هیچ تأثیری بر روی سیستم گردآورنده آلاینده‌گی، می‌توان برای سرمایه‌ش نقطه‌ای یا فضا تامین کرد. در واقع، رطوبت بالاتر هوای داخل منجر به سنگین‌تر شدن گرد و غبار و پرز شده و دفع آن راحت‌تر می‌شود (به شکل ۱۰ مراجعه کنید).

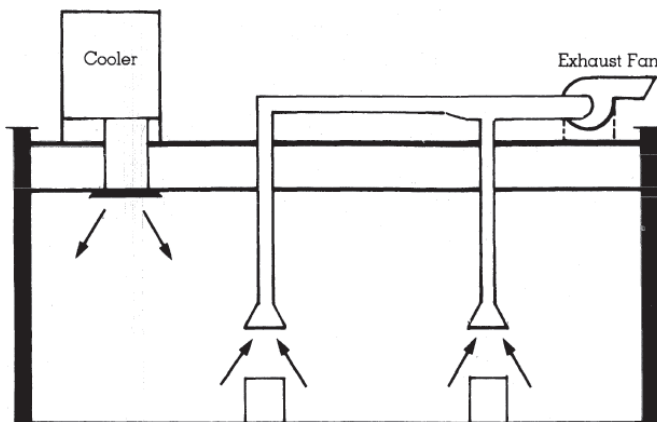
سیستم‌های سرمایه‌ش تبخیری بر روی تمام کارخانجات نساجی مقدماتی تأثیر مثبت دارند. بدین ترتیب ضمن حفظ رطوبت بالا آسایش کارکنان نیز بهبود می‌یابد. اغلب، نصب این سیستم‌ها گران بوده و از مزیت رطوبت‌زن، فن و غیره‌ای که قبلاً نصب شده برخوردار می‌شود. در حالی که کارخانجات نساجی مقدماتی دارای فرآیندهای استاندارد و تقریباً ثابتی هستند، کارخانجات نساجی تکمیل‌کننده با کثرت کاری و تولیدات کوتاه مدت مواجه بوده و در نتیجه سرمایه‌ش در کل کارخانه غیر قابل انعطاف خواهد بود. بنابراین، اغلب این کارخانجات از بخشی به بخش دیگر به هوارسانی هوای تازه وابسته بوده و در برخی نواحی دارای مشکل خود، از سرمایه‌ش برودتی بهره می‌گیرند. قابلیت تولید انسان و عوامل اقتصادی موجب تغییر این الگو خواهد شد.

گرمایش کارخانجات نساجی تکمیل‌کننده

در زمستان، بخش‌های دارای فرآیندهای نسبتاً خنک می‌توانند پکیج هوای جبرانی نصب کنند که شامل کولرهای تبخیری مستقیم به همراه کوره‌های گازسوز یا پمپ حرارتی است و بر حسب نیاز از آن‌ها استفاده می‌کنند. حتی بخش‌های با فرآیندهای کاملاً داغ نیز ممکن است در صبحدم روز اول

هفته خود یا فردای تعطیلات به پیش گرمایش نیاز داشته باشند. سپرهای تشعشی آلومینیومی و مشابه آن، که در اطراف برخی منابع گرما قرار می‌گیرند، را می‌توان برای گرمای بیشتر به صورت موقت برداشت.

از آنجا که نیاز گرمایی هر بخش متفاوت است، برخی مناطق احتمالاً به گرما و برخی دیگر به سرما نیازمند بوده و به نظر سیستم‌های گرمایش و سرمایش تبخیری ایستگاهی مرکزی نامناسب بوده و تمایل دارند که در مورد تمام مناطق به صورت یکسان عمل کنند. دستگاه‌های هوای جبرانی که به صورت پکیج هستند بسته به بخش یا عمل مورد نظر باید انعطاف پذیری لازم را داشته باشند. آن‌ها برای سرمایش یا گرمایش، حجم یکسانی از هوا را تحویل داده و در نتیجه بدون توجه به فصل، نیاز هوارسانی کارخانجات نساجی تکمیل کننده را تامین می‌کنند.



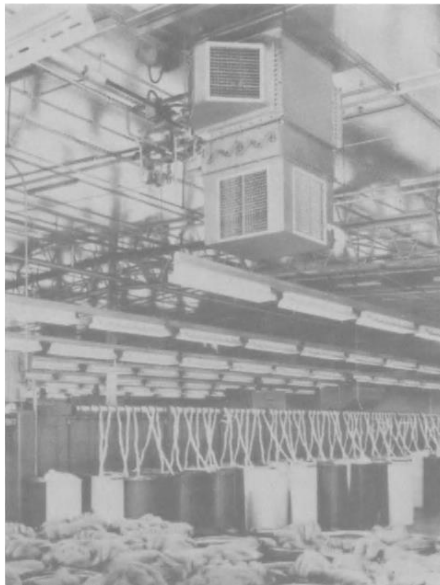
شکل ۱۰- کولری که در دفع آلاینده‌گی مشارکت می‌کند. در اینجا، یک کولر به آگزوزفن کمک می‌کند تا گرما، بخارات، گرد و غبار یا گازهای ناشی از فعالیت کاری را به صورت موضعی بربود. با داشتن یک ظرفیت بالاتر، این کولر یک فشار مثبت جزئی ایجاد کرده که مستقیماً تمام آلاینده‌ها را به داخل هودهای گردآورنده هدایت می‌کند.

آینده کارخانجات نساجی

در خاتمه باید خاطر نشان کرد که هر دو کارخانه نساجی مقدماتی و تکمیل کننده بازار خوبی برای سرمایش تبخیری هستند. در کارخانجات نساجی مقدماتی، از سرمایش برودتی نیز بر حسب نوع محصول استفاده شده ولی همچنان میلیاردها $(m^3/s)cfm$ هوای شسته شده نیز استفاده می‌کنند. در کارخانجات نساجی تکمیل کننده که کلاً دارای احتیاجات مختلفی است نمی‌توان نیازهای سرمایشی

را به صورت کامل تشخیص داد. در هر دو مورد، هزینه‌های رو به رشد تبرید می‌تواند موجب مطلوب-سازی فرآیندهای تبخیری بشود.

البته تورم قیمت جهانی دلار در دهه ۱۹۸۰، که بیشتر به دلیل مخارج نظامی فدرال بود، صادرات منسوجات ایالات متحده را به شدت قطع کرده و در عین حال موجب تقویت واردات منسوجات با قیمت کمتر از محصولات داخلی شد. بسیاری از کارخانجات نساجی ایالات متحده ورشکست شدند. بسیاری یا اغلب آن‌هایی که جان به در بردند از قبل از سیستم‌های توصیه شده در اینجا استفاده می‌کردند ولی اغلب بازار به خارجی‌ها تعلق گرفت.



شکل ۱۱- یک دستگاه هوای جبرانی در کارخانه نساجی در استرالیا که در طول سال هوارسانی می‌کند. در تابستان، یک کولر آبی نصب شده در پشت بام، هوای شسته شده را از طریق دریچه‌های پایینی توزیع می‌کند. در زمستان، دمپرها موتوردار دریچه‌ها را می‌بندند و کویل‌های بخار هوای تازه کولر را گرم کرده و سپس توسط دریچه‌های بالایی تحویل می‌دهند. رطوبت رسانی سالن توسط کولرهای آبی کوچکتر دارای وسیله کنترل رطوبتی (هیومیدیستات) انجام می‌شود که در داخل قرار داشته و توسط فیلترهای پرزگیر محافظت می‌شود.

سرمایش تبخیری غیر مستقیم

در بسیاری از کاربردهای نساجی به نظر می‌رسد که سرمایش تبخیری غیر مستقیم دارای بازده بالا، که هوا را بدون رطوبت زنی خنک می‌کند (به فصول ۲۳-۲۰ مراجعه کنید)، جایگزین سیستم برودتی است. وقتی از هوای برودتی برای پیش سرمایش هوای مراحل تبخیری مستقیم استفاده می‌شود،

تقریب بسیار ارزان قیمت آن امکان پذیر است. استفاده نهایی آن در تمام کارخانجات نساجی موجب جایگزینی اکثر انواع برودتی شده که با توجه به افزایش صعودی قیمت برق به نظر می‌رسد که جای خود را محکم ساخته‌است.

یک روند مهم دیگر مبتنی بر هزینه برق عبارت است از تعویض هواسازهای نوع افشانه‌ای در سیستم‌های سرمایه‌ش و گرمایش ایستگاهی مرکزی با کولرهای بزرگ با ماده واسط صلب است که به نظر اقتصادی‌ترین کولرهای تبخیری شناخته شده‌است. به طور مشابه کارخانجات نساجی تکمیل کننده نیز در اثر افزایش قیمت برق به صورت جدی مجبور به استفاده از سرمایه‌ش تبخیری خواهند شد و به جای صرفاً هوارسانی، خواهان سرمایه‌ش کارخانه به همراه کارکنان جهت افزایش قابلیت تولید خواهند شد.

پرسش‌های دوره‌ای

۱. تفاوت بین کارخانجات نساجی مقدماتی و کارخانجات نساجی تکمیل کننده را شرح دهید. کدام یک فرآیندهای متنوع‌تری را انجام می‌دهد؟
۲. از نظر تاریخی، چرا رطوبت طبیعی برای قرن‌ها کفایت می‌کرد و سپس ناکافی شده تا رطوبت‌زنی مکانیکی استاندارد شود؟
۳. پنج مزیت رطوبت مناسب در تولید نخ و پارچه را ذکر کنید.
۴. تفاوت بین رطوبت‌زنی مستقیم و غیر مستقیم را شرح دهید. کدام یک اول توسعه یافت؟
۵. دستگاه‌های رطوبت‌زن چه مزیتی نسبت به اتمایزرها دارند؟ احتمال گرفتگی در کدام یک بیشتر است؟
۶. سیستم‌های کانال مرطوب و رطوبت‌زن ایستگاهی مرکزی را مقایسه کنید. کدام یک بیشتر از فن محوری استفاده کرده و کدام یک از دمنده گریز از مرکز؟ چرا؟
۷. چرا وسایل افشاننده تمایل به مصرف توان بیشتری نسبت به روش پد مرطوب و سایر روش‌های تماس هوا-آب به صورت مویینگی مصرف می‌کنند؟
۸. چگونه سیستم‌های بدون کانال موجب تبدیل سیستم‌های رطوبت‌زن سنتی به سرمایش تبخیری شدند؟ وسایل مکانیکی اصلی اضافه شده چه بودند؟
۹. سرمایش کانال خشک را شرح دهید. آن را با سرمایش کانال مرطوب مقایسه کنید. چه کنترل‌هایی استفاده می‌شود؟
۱۰. منابع اصلی گرما در سالن‌های بافندگی چیست؟ چه گونه می‌توان آن‌ها را حذف کرد؟
۱۱. رطوبت مورد نیاز برای الیاف مصنوعی مثل رایون و نایلون را با الیاف سنتی مقایسه کنید. سه الیاف مصنوعی دیگر را نام ببرید.
۱۲. چه روش‌های خیس کردن هوایی جایگزین هواسازهای افشانه‌ای سنتی، در سرمایش ایستگاهی مرکزی و سیستم‌های رطوبت‌زنی است؟ چرا این تغییر صورت می‌گیرد؟
۱۳. سیستم‌های ایستگاهی مرکزی چگونه به اتاق‌های کاری یا بخش‌های مختلف قادر به ایجاد میزان رطوبت متفاوت هستند؟ این کار چگونه موجب صرفه‌جویی در اندازه فن و کانال و هزینه برق می‌شود؟
۱۴. چرا به منظور ایجاد رطوبت مناسب به صورت مصنوعی، گاه گاه لازم است تا سرمایش بروندی مکمل سرمایش تبخیری شود؟ آیا این کار در طی دمای مرطوب بالا یا پایین هوای بیرون رخ می‌دهد؟ آیا گونه خاصی از سرمایش تبخیری می‌تواند جایگزین آن شود؟

۱۵. اگر آب افشانده شده تبخیری مواد معدنی خود را در هوا بر جای بگذارد، چه روش‌های سرمایه‌ش تبخیری مستقیمی این گونه نیستند؟
۱۶. چهار فیلتر پرزگیر را نام ببرید. آن‌ها چگونه قادر به کاهش خطر آتش‌سوزی هستند؟
۱۷. چگونه کانال‌های حاوی هوای شسته شده می‌توانند دارای چگالش رطوبت بر روی آن‌ها باشند؟ چرا کارخانجات نساجی به ندرت نیاز به گرمایش دارند؟
۱۸. چهار عملیات رایج در کارخانجات نساجی تکمیل‌کننده را بیان کنید. چرا رطوبت اضافی هیچ مزیتی ندارد؟
۱۹. اعمال اصلی هود، کانال و فن در کارخانجات نساجی تکمیل‌کننده چه هستند؟ چرا؟
۲۰. سیستم روبش ایده‌آل با روبش تکه‌ای ماشین به ماشین در کارخانجات نساجی تکمیل‌کننده را مقایسه کنید. چرا نوع اخیر، علیرغم بازدهی کاری کمتر، رایج‌تر است؟
۲۱. سرمایه‌ش نقطه‌ای و سرمایه‌ش فضا را مقایسه کنید. چرا آن‌ها استفاده می‌شوند؟ سرمایه‌ش نقطه‌ای چه کاری را نباید انجام دهد؟ چگونه می‌توان سرمایه‌ش نقطه‌ای کم سرعت ایجاد کرد؟
۲۲. از چه اسباب‌بازی کودکانی می‌توان برای ردیابی مسیرهای جریان هوا در و اطراف محل-های کاری استفاده کرد؟ راه جایگزین رایج چیست؟
۲۳. به چه روشی هوای جبرانی شسته شده موجب یا مانع تخلیه آلاینده‌های کارخانجات نساجی تکمیل‌کننده می‌شود؟
۲۴. چرا دستگاه‌های هوای جبرانی تبخیری به نظر برای گرمایش و سرمایه‌ش کارخانجات نساجی تکمیل‌کننده مناسب‌تر از اغلب سیستم‌های مرکزی به نظر می‌رسند؟ چگونه می‌توانید به منظور حداکثر انعطاف‌پذیری در بخش‌های کارخانه آن‌ها را استقرار دهید؟ آیا آن‌ها قادر به تحویل هوای جبرانی زمستانی کافی هستند؟
۲۵. چرا سرمایه‌ش تبخیری غیر مستقیم تقریباً به صورت اجتناب‌ناپذیر جایگزین سرمایه‌ش برودتی در کارخانجات نساجی خواهد شد؟ چه روندهای دیگری به نظر می‌رسند که برای سرمایه‌ش کارخانجات نساجی به کار بروند؟

فصل ۱۵

سرمایش ماکیان و حیوانات

غیر معمول‌ترین بازار سرمایش، حوزه کشاورزی است که هزینه سرمایش بروندی در آن فوق‌العاده بالا است. این حوزه یک بازار ایده‌آل برای سرمایش تبخیری است. با جایگزینی مزارع مشارکتی و پیمانی به جای مزارع خانوادگی، فروش ناخالص سالانه تولیدات افزایش می‌یابد. میزان فروش در ایلنوی می‌تواند با کالیفرنیا رقابت کند. این بازار به کولرهای تبخیری مستقیم بزرگ و متوسط، که هم برای نمایندگان فروش و هم سازندگان پرسود است، وابسته خواهد شد.

به ویژه در حال حاضر بازار کشاورزی شامل موارد زیر می‌شود: (۱) سرمایش مزرعه و حیوانات اهلی از جمله ماکیان و احیاناً حیوانات باغ وحش و سیرک؛ (۲) واحدهای سرمایش در گلخانه‌ها و مکان‌های مشابه و (۳) سرمایش سیب‌زمینی، سیب درختی، مرکبات و سایر میوه‌ها در انبار. قطعاً کاربردهای بیشتری در دست توسعه است. دو کاربرد اول در ذیل بررسی شده و دو کاربرد بعدی نیز در فصل آتی بررسی خواهد شد.

سرمایش حیوانات

تقریباً تمام حیوانات اهلی دارای دمای بدن بالاتر از انسان هستند. دمای بدن برخی از حیوانات از قرار زیر است:

نام حیوان	°F	°C
گاو گوشتی	۱۰۱/۰	۳۸/۳
گاو شیری	۱۰۱/۵	۳۸/۶
گوسفند	۱۰۲/۳	۳۹/۱
خوک	۱۰۲/۵	۳۹/۲
خرگوش	۱۰۳/۱	۳۹/۵
بز	۱۰۳/۸	۳۹/۹
مرغ	۱۰۷/۱	۴۱/۷

همچون انسان‌ها، حیوانات نیز گرمای ناشی از سوخت و ساز (متابولیزم) خود را به محیط تلف می‌کنند. برای یک گاو بالغ میزان این گرما به 3000 Btu/h (3165 kJ/hr) می‌رسد. در آب و هوای خنک، دمای بالای خون، حتی در صورت داشتن پشم، خز یا پر، موجب سهولت همرفت و تابش گرما از بدن حیوان می‌شود. البته در آب و هوای گرم وضعیت متفاوت است.

اگر چه در کل، حیوانات به اندازه انسان نسبت به رطوبت حساس نیستند. بسیاری از حیوانات (به استثنای اسب) عرق نمی‌کنند. بنابراین آن‌ها باید گرمای سوخت و ساز خود را به صورت همرفت و تابش تلف کنند. حتی وقتی برای افزایش سرمایش، حیوانات نفس نفس یا لهله می‌زنند، تنها گرمای اندکی از طریق تبخیر از دهان، بینی، برونش و نسوج ریه دفع می‌شود. در نتیجه دمای میانگین (MRT) سطوح اطراف، دمای خشک و تحرک، عوامل اصلی برای آسایش و سلامتی حیوانات هستند. میزان رطوبت تاثیر کمتری داشته و در نتیجه سرمایش تبخیری تقریباً برای تمام دامداری‌ها و مرغداری‌ها ایده‌آل است.

وقتی دمای محیط اطراف حیوان به دمای خون آن‌ها نزدیک می‌شود، به دلیل محدودیت برای آزادسازی گرمای بدن یا گرمای رسیده شده از محیط، حیوانات دچار ناراحتی می‌شوند. در صورت افزایش دما نسبت به دمای خون، بسیاری از آن‌ها چندان زنده نمی‌مانند. در این میان خوک و ماکیان از بقیه آسیب‌پذیرتر هستند. گاوها دارای سطح بیرونی برای همرفت و تابش بوده و درون آن‌ها نیز به صورت تبخیری مرطوب بوده در نتیجه در برابر گرما مقاوم‌تر هستند.

نخستین نشانه تنش حرارتی، کم‌اشتهایی است. این عامل مستقیماً بر روی افزایش وزن و میزان شیر، تخم مرغ، پشم، مو یا تولید مثل تاثیر داشته و می‌تواند منافع مالک را به خطر بیندازد. برخی پرورش دهندگان خوک یا ماکیان با استفاده از ایجاد روشنایی در شب زمان تغذیه را به درازا می‌کشاند. این کار که به عنوان "زمان بیشتر برای خوردن" تعبیر می‌شود موجب می‌شود که تغذیه شبانه در هنگامی صورت گیرد که حیوان خنک است. در یکی از مواردی که خوک‌ها در ساعات ۱۰ شب و ۲ بامداد تغذیه می‌شدند در مقایسه با خوک‌هایی که در روز تغذیه می‌شدند، هر راس در هفته یک پوند (۰/۴۵ kg) افزایش وزن بیشتر داشته و همچنین زودتر به وزن مورد نظر برای عرضه به بازار می‌رسیدند.

رشد حیوانات در فضای داخلی نسبت به رطوبت زیر پا و کثیفی حساسیت یکسانی داشته و اردک‌ها و حیوانات جوان‌تر شاید بیشتر از آمونیاک و سولفید هیدروژنی که از مدفوع آن‌ها متصاعد می‌شود رنج می‌برند. خوشبختانه، هوارسانی یا سرمایه‌ش تبخیری برای دفع گرمای ناشی از سوخت و ساز کافی بوده و در صورت توزیع و تخلیه یکنواخت، رطوبت و گازهای مزبور را نیز دفع می‌کنند.

فقدان سرمایه‌ش و هوارسانی موجب مرگ حیوانات در آب و هوای گرم می‌شود. به منظور حفاظت از سرمایه و منافع، پرورش دهندگان باید به مقدار کافی عایق کاری، حفاظت در برابر تابش خورشید، هوارسانی و سرمایه‌ش تابستانی را انجام دهند. البته سرمایه‌ش برودتی به صورت عجیبی در اینجا گران در می‌آید. استفاده از ساختمان‌های خاص و تجهیزات سرمایه‌ش برای تابستان‌های کوتاه اقتصادی نیست در نتیجه اغلب کشاورزان بر روی خنکی در تابستان حساب کرده و ضرر آنرا در تابستان‌های گرم می‌پذیرند.

بنابراین روش سرمایه‌ش برودتی تنها برای حیوانات کوچک و ارزشمند خردار مثل روباه، مینک و چین چیل اقتصادی است. برای سایر حیوانات تنها سرمایه‌ش تبخیری اقتصادی است.

سرمایش خوک

خوک‌ها دارای بیشترین حساسیت به گرما هستند. آن‌ها اصلاً دارای غدد تعریق نیستند. به همین دلیل آن‌ها در تابستان دچار رخوت بوده و عاشق گل خیس هستند. به ویژه دمای هوا بر روی زمان

لازم برای رسیدن به وزن قابل عرضه به بازار، بازده غذا خوردن آن‌ها، تولید مثل و نرخ مرگ و میر آن‌ها موثر است.

مطالعات صورت گرفته در دانشگاه Purdue نشان می‌دهد که زمان لازم برای چاق کردن خوک‌ها برای عرضه به بازار در ۹۰ F (۳۲/۲ C) چهار برابر ۷۰ F (۲۱/۱ C) است. اگر چه دمای بالاتر موجب کاهش اشتهای آن‌ها می‌شود ولی به طول انجامیدن افزایش وزن آن‌ها موجب می‌شود که غذای مصرفی آن‌ها سه برابر بیشتر شود.

در دانشگاه کالیفرنیا، ۹۴ خوک در دمای ۴۰ F (۴/۴ C) تا ۱۱۰ F (۴۳/۳ C) مورد مطالعه قرار گرفتند. این مطالعه نشان می‌دهد که وقتی دما از ۹۰ F (۳۲/۲ C) بیشتر می‌شود تمام خوک‌ها دچار کاهش وزن شدند. بیشترین افزایش وزن نیز در دمای بین ۶۰ تا ۷۰ F (۱۵/۶ C تا ۲۱/۱ C) بود.

محققان دانشگاه اوهایو، باروری گرازها را پس از این که به مدت ۷۲ ساعت در معرض دمای ۹۲ F (۳۳/۳ C) قرار گرفتند، مورد مطالعه قرار دادند. در نتیجه ۴۰ درصد کاهش مشاهده شد که برای ۴۵ روز ادامه داشت. خوک‌های ماده‌ای که در ۹۲ F (۳۳/۳ C) قرار داشتند در مقایسه با خوک‌های ماده‌ای که در ۸۰ F (۲۶/۷ C) قرار داشتند ۱۳ درصد کمتر حامله شدند. یک پرورش دهنده خوک دریافت که خوک‌های ماده وی در آب و هوای خنک تا ۹ بچه و در آب و هوای گرم تا ۴ بچه به دنیا می‌آورند لذا وی خوکدانی خود را خنک نگه می‌داشت.

در یک مطالعه صورت گرفته در دانشگاه Purdue بر روی تاثیر تنش حرارتی بر بارداری خوک‌های ماده، ۸ ماده خوک از بین ۲۲ ماده خوکی که پنج روز در دمای ۹۸ F (۳۶/۷ C) قرار داشتند، تلف شدند. برای جلوگیری از این مرگ و میر و به خصوص مرگ و میر بچه خوک‌های آسیب‌پذیر، محل تولد و پرورش روزهای آغازین آن‌ها خنک نگه داشته شد.

سیستم‌های سرمایش خوک

در یک طرح پرورش در آریزونا، یک ساختمان کوچک برای زایمان خوک به ۱۲ اتاقک انفرادی برای ماده خوک‌ها تقسیم شده و در هر طرف راهرو مرکزی شش تا از آن‌ها قرار داشت. از طریق کولرهای آبی ۵۵۰۰ و ۴۰۰۰ (۲/۶ و ۱/۹ m³/s) هوا از یک انتها در پایین این راهرو دمیده شده که تقریباً به هر اتاقک ۴۵۸ یا ۳۳۳ (۱۳) (۹/۴ m³/s) می‌رسید. مقدار توصیه شده برای محل زایمان خوک‌ها ۲۱۰ cfm (۵/۹ m³/min) است. به منظور جلوگیری از سرد شدن بیش از حد بچه خوک‌ها، به جز جریان‌های سرگردان، هیچ جریان هوای مستقیمی روی آن‌ها برقرار نمی‌شود. هوای شسته شده از انتهای دیگر راهرو یا از طریق پنجره‌ها یا مجراهای هواکش و غیره فرار می‌کند.

در یک سیستم آزمایشی "خنک کننده پوزه" در ایلینوی، با استفاده از کانال، مقدار اندکی هوای شسته شده به نقاط پایین اتاقکها داده می‌شود. در طی آب و هوای گرم، ماده خوک‌های نگهداری شده بینی خود را در جریان هوای خنک نگه می‌دارند. خوک‌های ماده فاقد غدد تعریق بوده و تنها سرمایش تبخیری بدن آن‌ها از طریق اندام خیس تنفسی و سطوح دهان است. میزان جریان توصیه شده برای هر ماده خوک 80 cfm ($2/3 \text{ m}^3/\text{min}$) است. در این روش احتمال سرد شدن بیش از حد بچه خوک‌ها وجود ندارد.

برخی ساختمان‌های پروراندی خوک‌ها دارای کف مشبک، دارای گودال‌های حاوی کود در زیر اتاقک هستند که کولرهای بالاسری با جریان فروباد، فضای استقرار خوک را خنک نگه می‌دارند. هوای شسته شده از طریق کف و گودال مزبور پایین می‌آید. این کار موجب زدوده شدن آمونیاک و دیگر بوهای می‌شود که بر نرخ افزایش وزن ماده خوک‌ها موثر هستند و تجمع آن‌ها بیماری‌زا است. حداقل جریان بر حسب اندازه خوک‌ها تغییر می‌کند. در آب و هوای سرد مقدار آن بین ۴ تا 110 cfm ($0/1$) تا $1/2$ ($28 \text{ m}^3/\text{min}$) به ازای هر حیوان بسته به اندازه است. در تابستان عبارت از ۴۲ تا 110 cfm ($1/2$) تا $3/1$ ($3 \text{ m}^3/\text{min}$) هوای شسته شده به ازای هر حیوان است. برای هر ماده خوک و بچه‌اش نیز ۳۰ تا 750 cfm ($0/85$) تا $2/1$ ($2 \text{ m}^3/\text{min}$) است. در آب و هوای معتدل زمستانی و خارج از فصل مقدار ۱۸ تا 50 cfm ($0/5$) تا $1/4$ ($1 \text{ m}^3/\text{min}$) توصیه می‌شود که برای هر ماده خوک و بچه‌اش 150 cfm ($4/2 \text{ m}^3/\text{min}$) است.

کنترل‌ها

تحویل این گستره از جریان هوا مستلزم ساختمان‌های به اندازه کافی بزرگ برای استفاده از کولرهای دو یا سه سرعتی است. اغلب این کولرها دارای کلید قطع‌کن پمپ بوده تا در برخی فصول، کولر هوارسانی انجام دهد.

در نتیجه در سردترین آب و هوا، یک کولر به صورت خشک در دور کم کار کرده و حداقل هوای لازم را تامین می‌کند. با گرم شدن هوا، هوای لازم در ابتدا از طریق راه‌اندازی کولرهای با پد خشک در دور کم تامین می‌شود. سپس بر حسب ضرورت، یک به یک به دور تند می‌روند. پس از این که این هم کفایت نکرد، ابتدا کولر اول و سپس کولر بعدی در دور کم سرمایش انجام می‌دهند. در نهایت با افزایش بار سرمایی، آن‌ها سرمایش بیشتری را ایجاد می‌کنند. با سرد شدن هوا این روند معکوس می‌شود.

این مرحله‌بندی را می‌توان به صورت خودکار توسط ترموستات‌های مرحله‌ای بر حسب صعود و نزول دما انجام داد. با استفاده از سویچ تیغه‌ای^۱ یا تجهیزات هواسنج در جریان هوا در هنگامی که جریان کمتر از استاندارد است هشدار داده می‌شود. به طور طبیعی، اولین یا حداقل مرحله هوارسانی، از نظر اکسیژن و هوارسانی حیاتی بوده و مستقل از ترموستات عمل می‌کند. اگر چه سرعت و وضعیت پمپ این کولرها می‌تواند تغییر کند ولی هوادهی توسط آن‌ها هرگز متوقف نمی‌شود.

نمونه‌ای از تغییر خروجی یک سیستم سه کولره در جدول زیر نشان داده شده‌است. استفاده از کولرهای دو سرعت، شش مرحله هوارسانی و سرمایش را ارائه می‌کند. شماره‌ها نشانگر مرحله شروع ترموستات یا تغییر دور یا عمل کولر است.

کولر C	کولر B	کولر A	
۳	۲	۱	هوارسانی کم
۶	۵	۴	هوارسانی زیاد
۹	۸	۷	سرمایش کم
۱۲	۱۱	۱۰	سرمایش زیاد

اغلب کولرها را می‌توان به صورت انفرادی به کار برده یا هر مرحله معرف کارکرد چندین کولر است. این مرحله‌بندی تدریجی را می‌توان برای مرغداری‌ها، گاوداری‌ها، باغ وحش، گلخانه‌ها و غیره نیز انجام داد.

سرمایش خوک در هوای بیرون

برای خوک‌هایی که در هوای بیرون هستند سایه‌سار وسیعی لازم است تا به همراه یک سکوی (سطح) بتونی در معرض سایه، که به صورت داخلی خنک می‌شود، هر از گاهی بر روی آن لمیده و از طریق رسانش، به سادگی گرمای ناشی از سوخت و ساز را تلف کنند. بر طبق گزارش خوک‌هایی که بدین ترتیب خنک می‌شوند نسبت به خوک‌هایی که صرفاً در سایه قرار دارند، هر روز در حدود ۰/۳ پوند (kg) ۰/۱۴ بیشتر چاق می‌شوند.

بر اساس تولید گرمای طبیعی ۴۵۰ Btuh (۴۷۵ J/hr) برای هر خوک، برای ۷۵ تا ۱۰۰ خوک بالغ به ۵۰۰ فوت مربع (۴۶/۵ m²) سکوی بتونی نیاز است که با توان ورودی ۳ اسب بخار به طریق بروودی

1- Sail switch: کلیدی است مکانیکی که در پاسخ به وجود یا قطع جریان قطع و وصل می‌شود(مترجم):

سرد شوند. البته، سرمایش تبخیری این سکوها ارزان تر است. این کار می تواند از طریق شبکه لوله های گردش دهنده آب برج خنک کن یا مجراهای داخلی حامل هوای شسته شده حاصل از کولرهای تبخیری مستقیم انجام شود. از آنجا که در روش اول خطر تشکیل رسوبات پوسته ای وجود دارد، به نظر روش دوم ترجیح دارد. این سکوهای بتونی از بلوک های توخالی بتون ساخته می شوند که مجاری لازم برای هوای شسته شده را ایجاد می کنند. کولرهای آبی با تخلیه فروداد و اندازه مناسبی که بر روی ستون هایی در بالای حیوانات قرار می گیرند و گازهای خورنده آنها باید دمای سکوهای بتونی سایه دار را در محدوده 10 F ($5/6 \text{ C}$) از دمای مرطوب هوای بیرون حفظ کنند.

هوای شسته شده لازم برای سرمایش ۷۵ خوک را می توان از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$Q = \frac{H(V_S)}{(t_1 - t_2)(0.24)(60)}$$

به طوری که:

Q = جریان حجمی هوای شسته شده، $(\text{m}^3/\text{min})\text{cfm}$

H = بار گرمایی محسوس، $(\text{kJ/hr})\text{Btuh}$

$t_1 - t_2$ = افزایش دمای هوای شسته شده در سطح بتونی، $(\text{deg C})\text{deg F}$

V_S = حجم ویژه هوای شسته شده ورودی بر حسب $(\text{m}^3/\text{kg})\text{cu ft/lb}$ در دمای t_1

0.24 = گرمای ویژه هوا (1.12)

معادله فوق اغلب به صورت زیر کوتاه می شود:

$$\text{cfm} = \frac{H}{1.08(t_1 - t_2)} \quad \text{m}^3/\text{min} = \frac{H}{(1.21)(t_1 - t_2)}$$

اگر هوای شسته شده 8 F ($4/4 \text{ C}$) به دست آورد در آن صورت:

$$Q = \frac{(75 \text{ خوک})(450 \text{ Btuh})}{(1.08)(8 \text{ F})} = 3906 \text{ cfm} \left(1.84 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) [4.4 \text{ C}]$$

به جز سکوهای بتونی خنک شده، دهانه های خروجی هوای شسته شده در لبه خود باید موجب سرمایش پوزه حیوان شوند. بنابراین، سایه روی سکوی بتونی باید اجازه دهد که خوک ها در لبه آن لم دهند.

سرمایش گاو

واکنش گاو نسبت به گرما نظیر خوک است. در طی پرورش برای گوشت یا شیر، وقتی دما بین ۷۵ F و ۸۰ F (۲۳/۹ C و ۲۶/۷ C) است، میزان فعالیت و مصرف غذا کاهش شدیدی را نشان می‌دهد. گاوهای هندی وارداتی پر طاقت‌تر هستند ولی در دمای خشک بالای ۸۰ F (۲۶/۷ C) هیچ کوششی برای سرمایش پوست جهت ایجاد آسایش کفایت نمی‌کند.

در پرورش گوساله در کالیفرنیا در هنگام رسیدن دما به ۱۰۰ F (۳۷/۸ C) به صورت متناوب آب افشاندن می‌شود و در مقایسه با گاوداری‌هایی که صرفاً از سایه استفاده می‌کنند روزانه یک سوم پوند (۰/۱۵ kg) افزایش وزن بیشتری به دست می‌آید. وسایل سایه‌گستری که به همراه پارچه‌های کرباس خیس شده آویزان می‌شوند نیز مزایای بیشتری دارند. یک کشاورز که سالانه ۶۰۰ گاو را تغذیه می‌کند وقتی دما از ۸۰ F (۲۶/۷ C) بیشتر می‌شود بر روی سقف گاوداری خود آب جریان می‌دهد. در صورت کاهش دمای داخلی، هر گوساله روزانه $\frac{1}{4}$ تا $\frac{1}{3}$ پوند (۰/۱۱ تا ۰/۲۳ kg) افزایش وزن بیشتری دارد.

در آزمایشی که تقریباً ۳۰ سال پیش صورت گرفت، در یک گاوداری در آریزونا یک سایبان ۲۰۸ در ۱۶ فوت (۶۳/۴ در ۴/۹ m) به صورت یک سقف مسطح که بر روی ستون‌هایی قرار داشته و یک طرف آن نیز بر روی دیوار استوار بود ساخته شد. در لبه مقابل سقف یک کولر تبخیری خاص ساخته شد که دارای ۲۶ فن پروانه‌ای (۵۵۰۰ cfm) $(۲/۶ \text{ m}^3/\text{s})$ به فاصله هشت فوت از هم بود.

این فن‌ها، هوا را از میان یک پد پوشالی به عرض ۴ فوت (۱/۲ m) و به طول سایبان عبور می‌دادند که از بالا توسط یک پمپ تغذیه شونده از طریق یک تشتت زیرین خیس می‌شد. فن‌ها، هوای شسته شده را به سمت عقب که گاوها در آنجا جمع می‌شدند می‌دمیدند. به هر ۴۰ فوت مربع (۳/۷ m²) از سایبان حدود ۱۳۰۰ cfm (۳۶/۸ m³/min) هوا دمیده می‌شد.

نتایج این سیستم سرمایشی قابل ملاحظه بود. پس از زایمان در ماه‌های مه، ژوئن و اوایل ژوئیه، ۲۲۰ گاو شیرده با تولید شیر یکسان گاوها به دو بخش تقسیم شده و هر بخش در زیر سایبانی قرار گرفتند که یکی از آن‌ها دارای سیستم سرمایش فوق بود و دیگری فاقد آن بود. جیره روزانه شامل یونجه، برگ ذرت و مواد تقویتی آن‌ها یکسان بوده و روزانه دو بار شیردوشی می‌شدند.

در روزهای گرم تابستان گاوهای خنک شده به طور متوسط روزانه ۲/۵ پوند (۱/۱ kg) بیشتر غذا و بالاحص یونجه می‌خوردند. آن‌ها روزانه ۶ تا ۱۲ پوند (۲/۷ تا ۵/۴ kg) شیر بیشتر تولید می‌کردند. در یک دوره زمانی ۳۰۵ روزه هر یک از این گاوها ۱۸۰۰ تا ۲۰۰۰ پوند (۸۱۶ تا ۹۰۷ kg) شیر بیشتری تولید کرده که چربی آن نیز بیشتر بود.

سرمایش بر میزان تولید مثل نیز تاثیر داشت. هر دو گروه در طی ماه‌های ژوئیه، اوت و سپتامبر تولید مثل داشتند. گروه خنک‌تر دارای ۳۱ درصد حاملگی و گروه دیگر نیز ۱۴ درصد حاملگی داشتند. برای گروه گرم‌تر از هر ۷ مورد یک حاملگی وجود داشت ولی در مورد گروه خنک‌تر تنها از هر ۳ مورد یک حاملگی وجود داشت.

نتایج اقتصادی

این دوره آزمایش هفت ماهه دارای عایدی و اطلاعات هزینه‌ای ارزشمندی بود:
هزینه‌ها(بر حسب دلار):

۸۸۰	-	استهلاک سایبان و کولر
۱۷۶	-	سود و بهره
۴۱۰	-	نگهداری
۶۰۰	-	هزینه برق
۴۰	-	آب
۴۴۰	-	تغذیه ۱۱۰ گاو
۲۵۴۶	-	جمع

عایدی و صرفه جویی:

۱۲۶۶۳	-	تولید شیر بیشتر
۱۲۹	-	کاهش هزینه تولید مثل
۳۴۹	-	هزینه گاوهایی که باردار نمی‌شوند
۱۰۰۰	-	کاهش هزینه جمع‌آوری
۱۴،۱۴۱	-	عایدی و صرفه جویی کل
۱۴،۱۴۱	-	عایدی خالص
۲،۵۴۶	-	هزینه‌ها
۱۱،۱۵۹	-	عایدی خالص

در آزمایشات دیگر گاوها به شکل دیگری خنک شدند. در یکی از آن‌ها از یک کولر بزرگ در یک سر واقع در یک مکان سایه‌دار در هوای بیرون استفاده شد که دارای کانال‌هایی برای توزیع گسترده هوای شسته شده به بیرون بود. برای محدودسازی مکان هیچ اقدامی نشد.

یک گاوداری گاو شیری، برای حذف هزینه کانال، چندین کولر آبی کوچک با تخلیه فروباد را به صورت هم فاصله بر روی سقف یک سازه سایبان طویل نصب کرد. یک سمت و هر دو سر این مکان به ارتفاع ۲۰ اینچ (۵۱ cm) از سطح زمین محصور شده بودند. این کار تا حدودی موجب محدود شدن خروج هوای شسته شده گشته، به طوری که این هوا از سمت باز این مکان که گاوها وارد و خارج می‌شوند فرار می‌کرد.

گاوداری و موارد مشابه

تغذیه گاوها بیشتر در فضای داخلی صورت می‌گیرد. خنک کردن آنجا موجب بهبود اشتها، تولید شیر و بازده شیر می‌شود. در گاوداری‌های معمول با دو ردیف جایگاه رو به بیرون دارای راهرو مرکزی پهن، می‌توان با نصب کولرهای آبی، آبی-پرتابی یا با پد افشانه‌ای که تخلیه فروباد داشته و در پشت بام بر بالای راهرو نصب می‌شوند، هوای شسته شده از طریق دیفیوزرهای چهار دهانه توزیع می‌شود. هوای شسته شده از اطراف و بین گاوها عبور کرده و از پنجره‌هایی که در طرفین قرار دارد خارج می‌شود. پایین‌ترین لایه هوای شسته شده رطوبت و بو را جذب کرده و به بیرون انتقال می‌دهد.

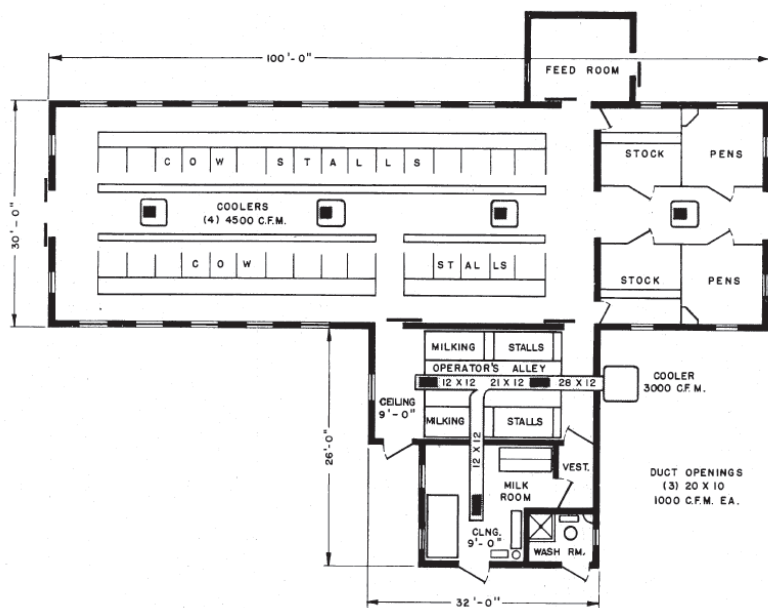
از طرف دیگر اشخاصی که از گاوها مراقبت می‌کنند، اغلب در راهروها بوده و کاملاً در هوای شسته شده ورودی خنک و عاری از بو قرار دارند. جریان خروجی از درها و پنجره‌ها به صورت عمده‌ای مگس‌ها را نیز خارج می‌سازد. سایر مناطق گاوداری، شامل مکان مربوط به گاوهای آبستن، گاوهای دارای گوساله نوزاد و گوساله‌های کوچک نیز به طور مشابه خنک شده و با انقطاع محدود جریان دارای کمترین کوران هستند.

متأسفانه در بسیاری از گاوداری‌های دارای گاو شیرده، یونجه‌ها را در طبقه دوم انبار کرده و مانع از نصب آسان کولرهای با تخلیه فروباد می‌شوند. در صورتی که سقف بلند باشد، کولرهای بزرگ با تخلیه جانبی را می‌توان در ورودی گاوداری نصب کرده تا کانال‌های سقفی-طولی را در بالای راهرو تغذیه کرده و دیفیوزرهایی در کف این کانال‌ها یا دریچه‌هایی در طرفین آن، هوا را تحویل می‌دهند (به شکل ۱ این فصل مراجعه کنید).

این کار باعث می‌شود که سمت دیگر گاوداری، برای نگهداری یونجه و دیگر امور آزاد بماند ولی اگر کف گاوداری تمیز نگه داشته نشده یا گاوها برای ورود به گاوداری منتظر بمانند، کولرها در معرض

گرد و خاک ناشی از کوبیدن سم حیوانات و گازهای با قابلیت خوردگی ناشی از فضولات قرار می‌گیرند. در اینجا می‌توان از اتصالات زانویی کانال در کولرهای با تخلیه فروباد استفاده کرد. همچنین اگر پنجره‌های مجاور در برابر گردش مجدد هوای شسته شده بسته باشند، می‌توان از کولرهای بزرگ با تخلیه افقی استفاده کرد که در دیوارهای رو به باد نصب شده و دارای اتصال سهراهی به کانال‌های مرکزی هستند.

وقتی گاوهای بزرگسالی که در آخور در نزدیک هم دیگر قرار دارند گرمای ناشی از سوخت و ساز کافی تولید می‌کنند که برای آسایش زمستان و سلامتی لازم است، ممکن است برای حیواناتی که آزادتر هستند این کفایت نکرده و به دستگاه‌های هوای جبرانی نیاز باشد. این موضوع در مورد محل اسکان در گاوداری، جایگاه شیردوشی و غیره که تعداد یا میزان تمرکز حیوان بسیار متغیر بوده یا پایین است نیز کاربرد دارد.



شکل ۱- سرمایش یک گاوداری معمول برای گاوهای شیرده با جایگاه‌های شیردوشی، با استفاده از چهار کولر آبی، آبی-پرتابی، پد افشانه‌ای یا با ماده واسط صلب کوچک به صورت تخلیه فروباد و با خروجی از یک طرف. از آنجا که انبارسازی یونجه در بالای گاوداری مانع از کانال‌کشی عمودی می‌شود، لذا می‌توان از کانال افقی دارای دهانه‌های خروجی در بالای راهرو استفاده کرد که از هر طرف یا از سمت رو به باد تغذیه می‌شود.

بسیاری از بحث بالا در مورد گوساله‌ها، گوسفندها، بزها و (با تنظیمات) اسب‌ها، که به دلیل داشتن غدد تعریق مورد آن‌ها را راحت‌تر می‌سازد، نیز تقریباً یکسان است. هیچ یک از موارد فوق نباید از مسکن ایده‌آل حیوان که بعداً مورد بحث قرار می‌گیرد بکاهد.

سرمایش مرغداری

پرندگان اهلی نیز در تمام سنین به حفاظت در برابر گرما نیاز دارند. برای مثال وقتی دمای هوای اطراف از ۷۵ F (۲۳/۹ C) بیشتر می‌شود، تولید تخم مرغ کاهش یافته، اندازه آن کوچک‌تر شده و پوسته آن نازک‌تر و شکننده‌تر می‌شود. در ۱۰۰ F (۳۷/۸ C) مرگ و میر مرغ‌ها و جوجه‌ها آغاز می‌شود. بنابراین، مرغداری‌ها باریک و دراز بوده و دارای پنجره‌هایی در کل دو طرف خود هستند که اغلب در جهت باد تابستانی است. مرغدارانی که هوای گرم و ساکن در زمان رشد پرندگان رخ می‌دهد بیشتر خطر می‌کنند. طبیعی است که مرغان تخم‌گذار^۱ در تابستان بیشتر در معرض خطر هستند.

تاثیر گرما روی مرغ و جوجه

دمای مرغداری		دمای بدن مرغ		تاثیر بر روی مرغ و جوجه
F	C	F	C	
۷۰	۲۱/۱	۱۰۶/۱	۴۱/۱۷	افزایش مصرف آب
۷۵	۲۳/۹	۱۰۶/۲	۴۱/۲۲	کاهش اندازه تخم مرغ
۸۰	۲۶/۷	۱۰۶/۳	۴۱/۲۷	مرغ‌ها له‌له می‌زنند
۸۵	۲۹/۴	۱۰۶/۶	۴۱/۴۴	کاهش مصرف غذا (کم اشتهايي)
۹۰	۳۲/۲	۱۰۶/۸	۴۱/۵۵	کاهش تولید تخم مرغ
۹۵	۳۵/۰	۱۰۷/۱	۴۱/۷۲	کاهش وزن مرغ‌ها
۱۰۰	۳۷/۸	۱۰۸/۲	۴۲/۳۳	آغاز مرگ و میر مرغ‌ها

بوقلمون، اردک، غاز، بلدرچین و دیگر پرندگان دارای رفتار مشابه و اغلب بدتر در برابر مشکل گرما هستند.

در تابستان در مرغداری، از طریق فن‌های گردش هوا و سپس با افشاندن تنک مه یا مه، از طریق شیپوره‌های بالاسری، می‌توان موجب سرمایه‌ش هوا و تعریق مصنوعی پرندگان شد. در تنک مه از فشار ۳۰-۵۰ psi (۲۰۷-۳۴۵ kPa) استفاده شده و ذرات اتمیزه درشتی تولید می‌شود که سربعاً فرو می‌نشینند. در حالت مه برای تولید ذرات ریزتر و با دوام‌تر، با استفاده از ۰/۵ تا ۲ gph (۱/۹ تا ۷/۶ l/hr) آب به ازای هر شیپوره، تا فشار ۲۲۰ psi (۱۵۱۶ kPa) ایجاد می‌شود. حتی در صورت استفاده از فن، این سیستم‌ها مطلوب‌تر می‌شوند. میزان کاهش دمای داخل عمدتاً در اثر تبدیل دمای خشک توسط تنک مه درون هوا به دمای مرطوب موقتی بین ۳ تا ۶ F (۱/۷ تا ۳/۳ C) است. در آزمایشات دقیق، ضریب تاثیر سرمایه‌ش معادل بین ۹ تا ۴۳ درصد و به صورت میانگین ۲۵ درصد بود. اغلب هوا تنها ۱ تا ۳ F (۰/۶ تا ۱/۷ C) خنک شده در حالی که پرندگان، آشیانه‌ها، کف و فضولات به صورت نامطلوبی خیس شده و در برابر بیماری‌های واگیر حساس‌تر می‌شوند.

هزینه نصب این سیستم به ازای هر پرنده ۳ تا ۱۸ سنت است که در مقایسه برای کولرهای تبخیری پد دار ۱ تا ۱/۵ دلار است که هوا را تا نزدیک ۲ deg F (۱/۱ deg C) دمای مرطوب بیرون خنک کرده و چیزی را در داخل خیس نمی‌کنند. بر اساس مشاوره صاحب‌نظران، سرمایه‌گذاری بیشتر برای کاهش بهتر تنش حرارتی اغلب در تابستان حدود ۸۵ تا ۹۵ سنت کاهش تخم مرغ به ازای هر مرغ و ۵ تا ۱۰ دلار به ازای هر بوقلمون هزینه دارد.

نیازهای سرمایه‌ش

در تمام مراحل صنعتی به یک سرمایه‌ش مطمئن نیاز است: سالن تخم‌گذاری^۱ برای تولید تخم مرغ‌های خوراکی، سالن جوجه‌کشی برای نشستن مرغ‌ها بر روی تخم، ماشین‌های جوجه‌کشی که تخم مرغ را به جوجه تبدیل می‌کنند، سالن پرورش برای تبدیل جوجه‌های کوچک به جوجه‌های گوشتی^۲ به منظور فروش و سالن‌های رشد^۳ برای پرورش مرغ‌های جوان^۴ جهت تولید تخم مرغ در آینده.

اغلب این مراحل توسط مجتمع‌های بزرگ انجام می‌شود. البته پرورش جوجه‌های گوشتی و مرغ‌های جوان که با توجه به الزامات زمانی در معرض بیشترین خطرات آب و هوایی و بیماری هستند اغلب در دستان کشاورزان خرده‌پا قرار دارد که نیاز آن‌ها به سرمایه‌ش اغلب بیشتر از سرمایه آن‌ها است. در تمام مراحل می‌توان از سرمایه‌ش تبخیری، یا بدون در نظرگیری هزینه، از سرمایه‌ش برودتی استفاده کرد.

1- Laying house
2- Broiler
3- Grow house
4- Pullet

حتی در مجتمع‌هایی که ماکیان کشتار شده، خون‌گیری شده، پرکنی شده، امعا و احشا آن تخلیه شده، درجه‌بندی شده، قصابی شده، بسته‌بندی شده و انبار می‌شود به جز بخش‌های انجماد و انبارهای $F 30 (C 1/1-)$ ، سرمایش تبخیری می‌تواند در تمام مراحل کمک حال باشد. نخست، کولرها می‌توانند پرندگانی که در کامیون‌ها در بیرون آماده تخلیه هستند را حفاظت و آرام کند. با تجمع پرندگان در داخل قفس، در هوای تابستانی $F 100 (C 37/8)$ ، یک تاخیر کوتاه موجب مرگ و میر می‌شود.

پس از آن، در محل‌های ورود داغ، پرگرد و غبار و پُر از پَر که قفس‌ها تخلیه شده و پرندگان از طریق پا بر روی نقاله‌ها آویزان می‌شوند، هر دو پرندگان و انسان‌ها به سرمایش نیاز دارند. همین آویزان بودن، کشتار و خون‌ریزی موجب ایجاد گاز و بو شده و در ادامه آن، در اثر جریان آب، پرها شسته می‌شوند. در نهایت، آب زیادی برای شستن و خنک نگه داشتن لاشه‌ها استفاده شده که رطوبت داخل را به شدت بالا می‌برد. در تابستان، در صورت عدم امکان سرمایش فضا، تمام این محل‌ها به سرمایش نقطه‌ای (به فصل ۱۳ مراجعه کنید). به انضمام دفع گرد و غبار، پر، گازها، بخار و رطوبت نیاز دارند. بنابراین تمام فرآیندها، از زمانی که تخم‌مرغ‌ها برای جوجه‌کشی گذاشته می‌شوند تا زمانی که پرندگان آماده طبخ می‌شوند، به سرمایش تبخیری نیاز دارند.

نتایج کلی

مرغ‌ها مثال‌های خوبی هستند. در سالن‌های تخم‌گذاری^۱، مرغ‌های خنک شده در تابستان، تا ۱۵ درصد تخم بیشتر گذاشته که به طور میانگین ۵ تا ۶ درصد بزرگ‌تر است. تعداد تخم مرغ‌های درجه دوم شکننده تا ۳۳ درصد کاهش یافته که بیشتر به دلیل دفع آمونیاک، پر، گرد و غبار و مگس است.

در سالن‌های جوجه‌کشی، در صورت سرمایش، ۳ تا ۱۰ درصد تخم بیشتر را می‌توان مورد جوجه‌کشی قرار داد که بخشی از دلیل آن بدین خاطر است که هوای مرطوب، غشا زیر پوسته تخم مرغ را نفوذپذیر ساخته و نطفه بهتر تنفس می‌کند. هوای شسته شده موجب دفع CO_2 آزاد شده توسط نطفه تحت جوجه‌کشی می‌شود.

در سالن‌های پرورش جوجه‌گوشتی، در اثر اشتباهی بیشتر، پرندگان ۵ تا ۸ درصد افزایش وزن بیشتر، در ظرف ۲ تا ۸ درصد زمان کوتاه‌تر داشته و میزان تبدیل خوراک به افزایش وزن ۶ تا ۷ درصد بیشتر است. به علاوه، در آزمون‌ها نرخ مرگ و میر در ساختمان‌های خنک نشده با دمای $F 90 (C 32/2)$ که بین $3/7$ تا $5/4$ درصد است به $3/4$ درصد می‌رسد که نشانگر ۲۵ درصد بهبود است. در آب و هوای گرم‌تر میزان بهبود احتمالاً تا ۳۵ درصد هم می‌رسد.

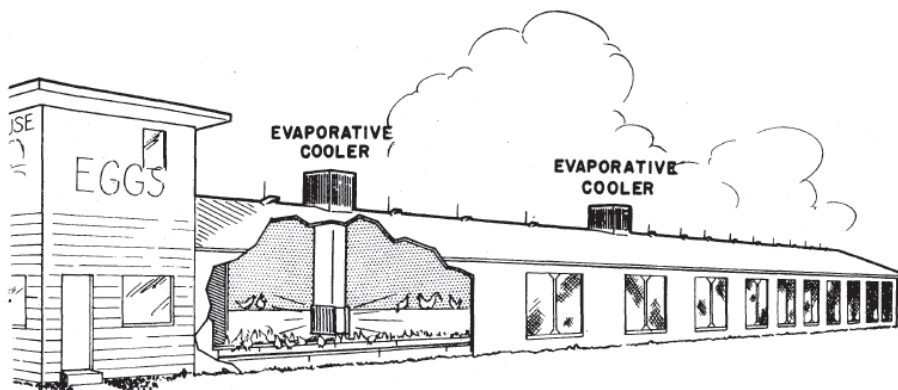
بنابراین در مورد مزایای سرمایه‌ش تبخیری در تمام مراحل این صنعت هیچ پرسشی باقی نمانده و سرمایه‌ش برودتی تقریباً غیر قابل کاربرد است. تنها پرسش باقیمانده در مورد روش کار است.

آزمایش کولر آبی

سی سال پیش، یک سالن بزرگ تخم‌گذاری در ایلینوی، به منظور آزمایش دقیق به دو قسمت تقسیم شد. هر نیمه به ابعاد ۱۵۶ در ۲۸ فوت (۴۷/۵ در ۸/۵ متر) و با ظرفیت ۲۰۰۰ مرغ برای تخم‌گذاری بود.

هر دو بخش دارای یک دیوار طویل بودند که به منظور تامین نور و تهویه داخلی تقریباً ۵۰ درصد آن توری بود. در آب و هوای داغ مرغ‌ها برای خنک شدن در آن سمت جمع می‌شدند.

دو کولر آبی $\frac{3}{4}$ اسب بر روی سقف یکی از دو بخش قرار گرفت که هر یک حدود 7100 cfm ($201 \text{ m}^3/\text{min}$) هوای شسته شده را به دریچه‌های افقی واقع در سمت مقابل می‌داد. اگر ما فقط ۲ فوت (۶۱) پایین سالن را در نظر بگیریم، که تنها بخشی است که توسط مرغ‌ها اشغال می‌شود، تنها یک بار تعویض هوا در دقیقه ایجاد می‌شود (به شکل ۲ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۲- نیمه خنک شده یک سالن بزرگ تخم‌گذاری در ایلینوی که دمای آن، در آزمون تابستانی، 10 deg C (50 deg F) خنک‌تر بود. در این سالن به سادگی ۱۵ درصد مرغ بیشتر مستقر شده و در زمان یکسان ۴۲۳ دوچین تخم مرغ بیشتر تولید می‌شد.

کولرها در مجموع $81,000 \text{ Btuh}$ ($85/5 \text{ kJ}$) گرمای بیرون را در هر ساعت از فضای مورد سرمایه‌ش خارج می‌ساختند که شامل $61,000 \text{ Btuh}$ ($64/4 \text{ kJ}$) گرمای سوخت و ساز مرغ‌ها می‌شد. وقتی دمای هوای بیرون از 70 F ($21/1 \text{ C}$) بیشتر می‌شد کولرها شروع به کار می‌کردند ولی وسایل تنظیم رطوبت (هیومیدیستات) رطوبت نسبی داخل را در کمتر از ۷۵ درصد نگه می‌داشتند.

هر چند ایلینوی یک ایالت نسبتاً مرطوب است که در آن کولرهای تبخیری مستقیم دارای معایبی هستند، ولی دمای نیمه خنک شده هرگز به بالاتر از ۸۸ F (۳۱/۱ C) نمی‌رسد. البته دمای نیمه دیگر مکرراً به ۹۰ F (۳۲/۲ C) رسیده و در طول شش هفته یک بار هم به ۹۸ F (۳۶/۷ C) رسید.

مزایای سرمایه‌ش روشن بود. نیمه خنک شده نه تنها ۱۵ درصد مرغ بیشتری را در خود نگه می‌داشت بلکه در طی دوره آزمون، ۴۲۳ دوجین تخم مرغ بیشتر نیز تولید شده و همچنین بسیاری از مرغ‌ها نیز دوره تخم‌گذاری بهتری را در آنجا طی کردند.

اگزوزفن‌ها

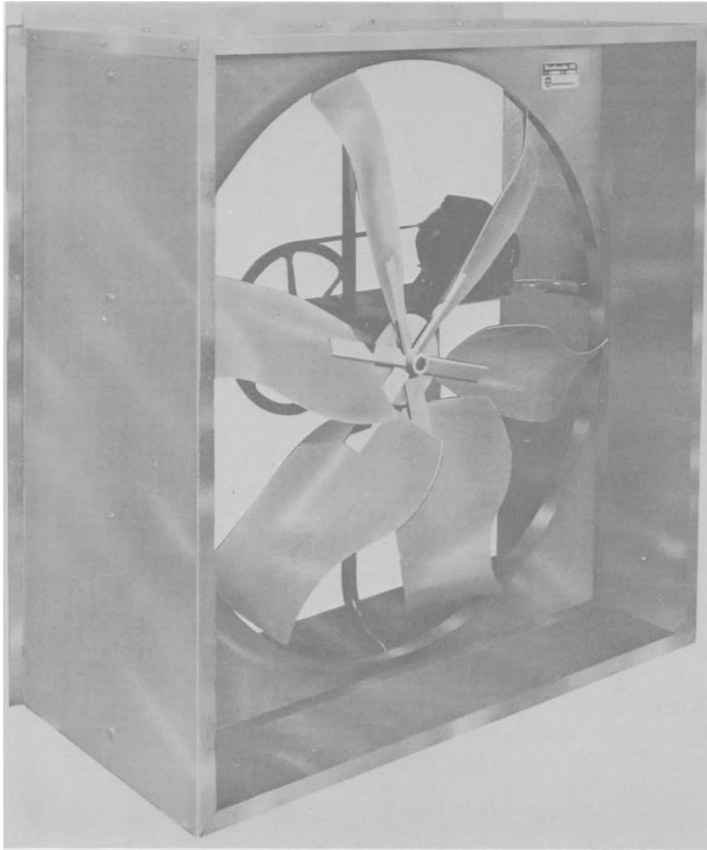
مباحث زیر و فصل بعدی در مورد اگزوزفن‌ها است. بر خلاف بسیاری از فن‌های واحدهای صنعتی و کارخانجات نساجی (فصول ۱۳ و ۱۴)، این فن‌ها منحصراً بدون کانال و از نوع پروانه‌ای هستند که اغلب چند سرعتی بوده، در دیوار یا پنجره (یا گاه در پشت بام) نصب شده و مستقیماً به بیرون و ترجیحاً به سمت باد تخلیه می‌شوند.

برای صرفه جویی در فضای داخلی، اغلب این فن‌ها در قاب فلزی در خارج دیوار نصب می‌شوند. اغلب آن‌ها مسطح، با شفت و جریان هوای افقی بوده و به منظور حفاظت در برابر وضعیت آب و هوایی، در هنگامی که فن‌ها کار نمی‌کنند، دارای دریچه‌های کرکره‌ای بارومتری^۱ هستند. بقیه این فن‌ها دارای قاب زاویه‌دار بوده که فن در آن‌ها به صورت شیب‌دار قرار گرفته و تقریباً با زاویه ۲۰ درجه به صورت فروباد می‌دمند. این زاویه موجب حفاظت در برابر باران شده، در نتیجه یک حفاظ مشبک فلزی سبک از دهانه تخلیه محافظت می‌کند. در سمت ورودی، به منظور حفاظت در برابر وضعیت آب و هوایی، دریچه‌های کرکره‌ای بارومتری با کیفیتی نصب می‌شوند که بهتر از نوع خارجی آب‌بندی ایجاد کرده و در عین حال افت فشار استاتیک کمتری را ایجاد می‌کنند. به منظور سهولت در تعمیر و نگهداری، در بهترین سیستم‌های فن چند تایی، از مدل‌ها و اندازه‌های استاندارد استفاده می‌شود (به شکل ۳ این فصل مراجعه کنید).

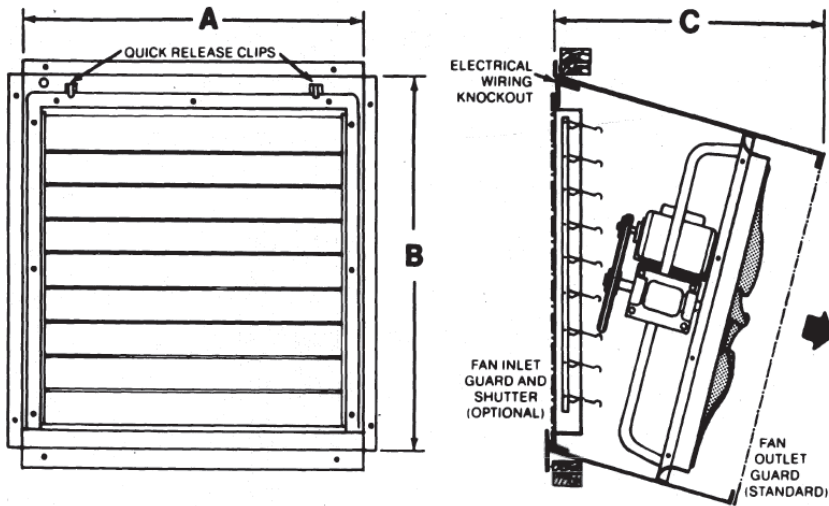
هر دو نوع فن در جنس‌های فولاد گالوانیزه، آلومینیوم یا فولاد کربنی روکش‌دار موجود بوده و دارای یاتاقان‌های روغنکاری شده برای یک عمر ده ساله بوده و موتورهای آن‌ها یک یا دو سرعتی است. در صورت درخواست می‌توان دریچه کرکره‌ای آن را توسط موتورهای برقی باز و بسته کرد تا حداقل افت فشار استاتیک ایجاد شود. در سمت داخل، یک حفاظ مشبک، از برخورد انسان یا حیوانات یا کشیده شدن به داخل شاخ و برگ درختان در گلخانه‌ها (بعدها مورد بحث قرار می‌گیرد) جلوگیری می‌کند.

1- Barometric shutter

اندازه رایج از قطر پره ۲۴ تا ۵۴ اینچ (۶۱ تا ۱۳۷ سانتی‌متر)، موتور $\frac{1}{4}$ تا $\frac{1}{5}$ اسب، و ظرفیت ۵۳۰۰ تا ۲۷۰۰۰ cfm ($\frac{2}{5}$ تا $13/1$ m³/s) است (به شکل ۴ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۳- یک اگزوز فن افقی با نام تجاری Acme دارای دریچه کرکه‌ای خارجی بارومتری یا باز شونده با فشار هوا است که از روی وجه (رخ) جلویی برداشته شده است. این فن‌ها معمولاً بر دیوار خارجی یا پنجره نصب شده و بخش‌های متحرک آن توسط دریچه‌های کرکه‌ای، که در حالت عادی بسته هستند، محافظت شده و در هنگام چرخه‌های گرمایش به صورت نیمه آب‌بندی است. همچنین حفاظ مشبک داخلی برای جلوگیری از جراحت انسان‌ها یا حیوانات، یا گیر کردن شاخ و برگ در گلخانه‌ها (فصل ۱۶) در این شکل قابل مشاهده نیست. موتور این فن‌ها از $\frac{1}{4}$ تا $\frac{1}{5}$ اسب بوده که در بزرگ‌ترین مدل قادر به تخلیه ۲۸۰۰۰ cfm ($13/24$ m³/s) است. برای کنترل ظرفیت می‌توان از یک یا دو دور موتور استفاده کرد یا تعدادی از فن‌های گروهی را خاموش کرد.



شکل ۴- نماهای یک اگزوز فن با قاب شیب‌دار با نام تجاری Acme. فن و موتور آن عیناً مثل نوع افقی هستند اما به منظور حفاظت در برابر باران دارای زاویه تقریباً ۲۰ درجه فروباد (رو به پایین) هستند در نتیجه دریچه کرکره‌ای معمولاً بر دیوار (شکل چپ) قرار می‌گیرد. این امر موجب سهولت در استفاده از دریچه‌های کرکره‌ای برقی شده تا موجب کاهش مقاومت جریان هوا و افزایش ظرفیت به ازای هر کیلو وات شود. این فن‌ها اغلب چند سرعت هستند.

تمام فن‌ها باید طوری قرار گیرند تا از دمیدن هوای شسته شده استفاده شده به سمت پدها یا پانل‌های سرمایشی، سایر فن‌ها، یا به مکان‌های مسدود نظیر دیوار ساختمان جلوگیری شود. تمام فن‌ها باید از نظر عملکرد در فشارهای استاتیک، گواهی‌نامه تاییدیه دریافت کنند. اگر فن‌ها به سمت باد بدمند، ظرفیت باید ۱۰ درصد افزایش یابد که این کار احتمالاً با استفاده از یک موتور بزرگ‌تر انجام می‌شود (به شکل ۵ این فصل مراجعه کنید).

وقتی فضایی بر روی دیوار موجود نبوده یا تخلیه افقی هوا مشکل‌زا است، از اگزوز فن‌های سقفی دارای کلاهک ضد باران و دریچه کرکره‌ای خودکار استفاده می‌شود. فن‌های معمول دارای قطر ۳۰ تا ۴۲ اینچ (۷۶ تا ۱۰۷ cm)، موتور $\frac{1}{3}$ تا یک اسب و خروجی ۶۲۰۰ تا $16,200 \text{ cfm}$ (تا $2/93$ تا $7/65 \text{ m}^3/\text{s}$) در طی مقاومت استاتیک صفر هستند.

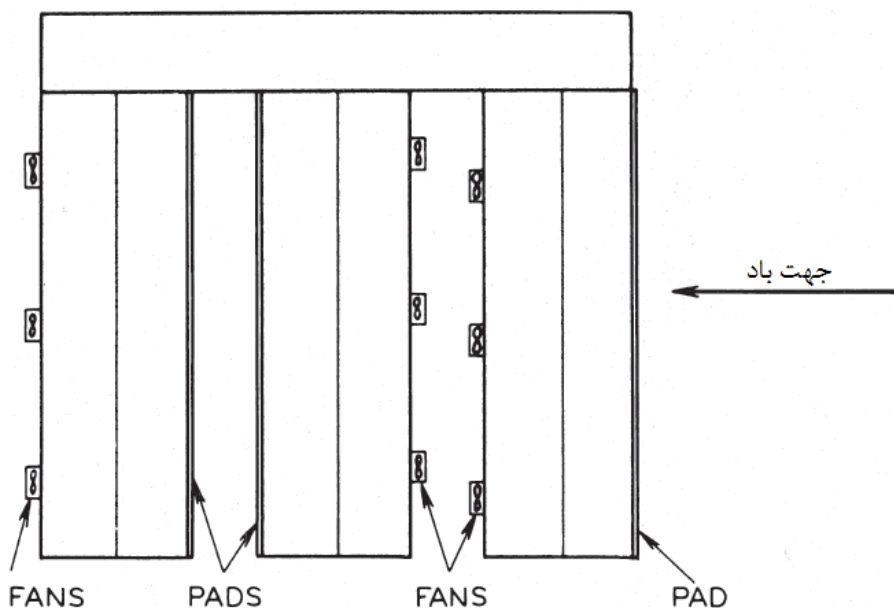
آزمایش شکاف

در ۱۹۸۰ یک ساختمان پرواربندی جوجه گوشتی، که دارای سقفی سبک و دیوارهای عایق بود، به دو طول مساوی تقسیم شد. یک قسمت در خارج دیوارهای بیرونی و در زیر پنجره‌ها به پدهای صلب پیوسته تجهیز شد و دیگری که توسط پرده عایق شده، هوا را از طریق پدهایی وارد می‌کردند که در

داخل شکاف‌هایی به ارتفاع ۶ اینچ (۱۵/۲ cm)، در سراسر طول دیوار، و درست در بالای سر مرغ‌ها قرار داشت.

این شکاف‌ها سرعت هوای شسته شده بالایی را ایجاد کرده تا هوای اتاق را، تا وسط سالن، در اطراف مرغ‌ها بهتر آشفته کرده و در عین حال سرعت خروجی از پد، در مجاور صورت، پایین و در نتیجه بازده سرمایش بالا بود.

توان لازم توسط سه اگزوز فن تامین می‌شد که یکی از آن‌ها دارای سرعت متغیر و دو تای دیگر سرعت ثابت داشتند. اگزوز فن اول به صورت پیوسته کار کرده و دو اگزوز فن دیگر توسط ترموستات، به ترتیب در 75 F ($23/9\text{ C}$) و 82 F ($27/8\text{ C}$) شروع به کار می‌کردند. سرمایش صرفاً به طریق هوارسانی انجام شده تا این که آخرین فن شروع به کار کرده و بدین ترتیب سرمایش تبخیری آغاز می‌شد.



شکل ۵- مکان راهبردی اگزوز فن‌ها در ساختمان‌های نزدیک به هم به منظور جلوگیری از تخلیه به سمت پدها یا پانل‌های سرمایشی یا فن‌های دیگر. توجه شود که اغلب پانل‌های دیوار به سمت باد بوده و اغلب فن‌ها، جهت عدم مسدود شدن، در خلاف جهت باد بوده و هیچ کدام به سمت پانل‌ها یا نزدیک آن‌ها نیستند. وقتی فن‌ها باید در برابر موانعی بدمند که نزدیک‌تر از ۱/۵ برابر قطر فن فاصله دارند، اگزوز فن‌های سقفی ترجیح دارند.

ساختمان دیگر دست نخورده باقی مانده و تنها از طریق پنجره‌های خود خنک می‌شد. در تابستان‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۸۱، در هر دو نیمه جوجه‌ریزی شدند. در ساختمان دست نخورده جوجه‌ها با دمای تا F

۹۵ (C ۳۵) مواجه بودند. در ساختمان خنک شده ندرتاً دما به ۸۳ F (C ۲۸/۳) می‌رسید. ضریب تاثیر سرمایش پدها به طور متوسط ۸۲ درصد بود که وقتی پد و سیستم آب آن در معرض گرمای خورشید قرار می‌گرفت، موقتاً تا ۷۴ درصد پایین می‌آمد.

میانگین سرعت در شکاف‌ها به ۳۵۰ fpm (۱۰۷ m/min) و حداکثر تا ۴۴۲ fpm (۱۳۵ m/min) می‌رسید. در عین حال، شکاف‌های طویل اجازه می‌داد تا تمام پرندگان به راحتی به هوای خنک یکسان دسترسی داشته باشند.

نتایج اقتصادی

پس از ۴۹ روز تمام جوجه‌های باقیمانده به فروش رفتند. جوجه‌هایی که در معرض سرمایش بودند به طور متوسط ۰/۴۸ پوند (۰/۲۲ kg) سنگین‌تر از گروه دیگر بودند. هر یک از آن‌ها ۰/۳۶ پوند (۰/۱۶) کمتر غذا مصرف کرده و مرگ و میر کمتری داشتند. میزان صرفه‌جویی در غذا برای هر پرنده ۳/۶ سنت و میزان صرفه‌جویی در برق نزدیک ۳ سنت بود. با استفاده از هوارسانی و تهویه از طریق پنجره در نیمی از زمان‌ها، مثل شب هنگام، میزان صرفه‌جویی به ازای هر جوجه گوشتی فروخته شده به ۲/۱ سنت می‌رسد.

اگر افزایش وزن را در نظر بگیریم، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، بدون در نظر گیری نرخ بهره، پنج ساله برمی‌گردد. هزینه اولیه این سیستم کاملاً بالا است در نتیجه این روش بیشتر برای محصولات پر خطری مثل مرغ جوان، تخم مرغ، بوقلمون یا ماکیان‌های خاص و نه جوجه گوشتی مناسب است.

کاربرد جاری کولر آبی

مثالی در مورد ایلینوی ذکر شد. یک تولیدکننده مرغ جوان در کالیفرنیا با شش ساختمان به ابعاد ۲۳۰ در ۴۰ فوت (۷۰/۱ در ۱۲/۲ متر) دارای کولرهای آبی با تخلیه فروباد hp ۱۲۸/۵ در لبه پشت بام است. دو سالن پرورش جوجه دارای ۱۸ کولر و بقیه دارای ۲۳ کولر بوده که تقریباً در هر ۱۰ فوت (۳ متر) یک کولر می‌شود. حداکثر ظرفیت ۱۴۰،۰۰۰ پرنده است.

در سالن‌های پرورش جوجه از جوجه مرغ‌های یک تا ۴۸ روزه نگهداری می‌شود. سالن‌ها در هر ۸۰ ثانیه توسط یک دستگاه تعویض هوای خشک یا شسته شده خنک می‌شوند. سپس در سالن‌های رشد، با تعویض هوا در ۹۰ ثانیه، مرغ‌ها را تا سن ۲۰ هفتگی جهت تخم‌گذاری پرورش می‌دهند.

کولرها، کانال‌های چوبی بالاسری را تغذیه می‌کنند که دارای حدود ۱۴ دهانه خروجی در ارتفاع حدود ۴ فوتی (۱/۲ m) از قفس جوجه‌ها و ۱۰ فوت (۳ m) در بالای قفسه بالایی در سالن رشد هستند. هوای

استفاده شده سالن پرورش جوجه از طریق دمپرهای بارومتری خارج می‌شود که در هر ۲۰ فوت (۶/۱) از محیط ساختمان قرار دارند. در سالن پرورش نیز هوای استفاده شده از طریق دیوارک‌هایی در پایین دیوارهای طویل خارج می‌شود.

کولرها، که به صورت خودکار کنترل می‌شوند، ۳۳۰۰ تا ۴۰۰۰ cfm (۱/۶ تا ۱/۹ m³/s) هوا تحویل می‌دهند. بدین ترتیب حدود نیمی از سال هوارسانی لازم انجام می‌شود. بقیه کولرها به صورت ترموستاتی کنترل می‌شوند، وقتی به هوارسانی بیشتری نیاز است، فن آن‌ها شروع به کار می‌کند. سپس وقتی دمای هوای داخل ۷ deg F تا ۸ deg F (۳/۹ تا ۴/۴ deg C) افزایش می‌یابد، پمپ شروع به کار کرده و سرمایش تبخیری انجام می‌شود. پمپ‌ها و حوضچه(تشت)های مشترک بزرگ، آب را به کولرهای هر ساختمان می‌رسانند تا در هزینه برق، تعمیر و نگهداری پمپ، خوردگی تشت کولر و آب دورریز صرفه جویی شود. تنها یک بار تعویض پد در طول هر سال کفایت می‌کند.

ساختمان‌ها دارای رنگ سفید بازتابنده گرمای خورشید بوده و از نفوذ نور جلوگیری می‌کنند تا بتوان عمل تغذیه را در طول چرخه شب و روز انجام داد.

سیستم‌های جایگزین

پر طرفدارترین سیستم‌ها عبارتند از کولرهای با پانل دیواری و با ماده واسط صلب که دارای اگزوزفن-هایی(به فصل ۱۳ مراجعه کنید) در فاصله دور هستند به طوری که پدها در یک سر ساختمان و فن‌ها در سر دیگر آن قرار دارند. این سیستم‌ها دمای داخلی پایینی تولید کرده و در مجاور پدها نیز مقداری کوران به وجود می‌آورند به طوری که جریان هوا و دما به آرامی به سمت بالا و به سوی فن‌ها بوده و جریان طولی هوای شسته شده در سراسر عرض ساختمان به وضوح کندتر از سیستم شکاف یا دهانه‌های کولر آبی است که قبلاً ذکر شد. مقداری از جریان هوا که از کف ساختمان بر می‌خیزد گرما را جذب کرده ولی پرنده‌گانی که در قفس‌های بالایی قرار دارند را لاجرم خنک می‌کند.

افزایش دما را می‌توان توسط پدهایی که در مرکز ساختمان و فن‌هایی که در دو سر آن قرار دارند حداقل ساخت ولی در بهترین حالت، اقلیتی از پرنده‌گان از سردترین هوا لذت خواهند برد. البته، بر طبق نیاز به سرمایش، تقسیم‌بندی و استقرار آن‌ها باید اثرات را به صورت کاملاً یکنواخت به تعادل برساند. دیوارک‌هایی که در گلخانه‌ها(فصل بعد) استفاده می‌شوند باید در صورت لزوم جریان‌های هوا را به پایین بیاورند.

به نظر می‌رسد که احتمالاً کولرهای سه سرعتی با تخلیه فروباد آبی، آبی-پرتابی، با پد افشانه‌ای، یا با ماده واسط صلب که در طول مرکزی پشت بام قرار داشته و دیفیوزرها یا دریچه‌های چهار دهانه‌ای را

در بالای قفس ماکیان تغذیه می‌کنند، قادر خواهند بود که قیمت اولیه پایین و شرایط داخلی یکنواختی را تامین کنند. هوای شسته شده استفاده شده، باید از طریق پنجره‌های واقع در طرفین ساختمان یا دریچه‌های کرکره‌ای خودکار بارومتری یا اگزوزفن‌های بالاسری تخلیه شود.

مسائل فوق در سالن‌های نگهداری حیواناتی که مهندسی دقیق شده‌اند نیز رخ می‌دهد. البته چند کولر کامل کوچک یا در اندازه متوسط که دارای دمنده‌های گریز از مرکز و پمپ‌ها یا افشاننده‌های کوچک هستند، در مقایسه با پانل‌های بزرگ با ماده واسط صلبی که دارای اگزوز فن‌های پروانه‌ای بزرگ هستند و توسط پمپ‌های بزرگ کارآمد خیس می‌شوند، می‌توانند توان کمتری مصرف کنند. در سرعت‌های هوای ورودی پایین، هر چه پانل‌ها ضخیم‌تر باشند در مقایسه با انواع دیگر پد می‌توانند هوای شسته شده خنک‌تری را ایجاد کنند.

سالن‌های مخصوص نگهداری حیوانات

به منظور سهولت در حمل و نقل، تغذیه و تمیز کردن، اغلب سالن‌های نگهداری حیوانات یک طبقه هستند. به منظور ایجاد ساده‌ترین روش نورپردازی و تهویه، این سالن‌ها دراز و باریک بوده و طرفین آن دارای پنجره هستند. با توجه به آسیب‌پذیری اغلب دام و طیور در برابر بیماری‌ها و سرما و گرما و با توجه به هزینه پرورش آن‌ها، این پناهگاه‌ها تنها تا حدودی مناسب هستند. این ساختمان‌ها به موارد زیر نیز نیازمندند:

۱. سرمایش تابستانی به منظور افزایش سرعت رشد و کاهش مرگ و میر
۲. تهویه و هوارسانی کنترل شده در بهار، تابستان و پاییز
۳. گرمایش زمستانی بر حسب شرایط آب و هوایی
۴. حداقل تهویه مطمئن برای زمستان و شب‌های سرد به منظور تامین پیوسته اکسیژن و دفع آمونیاک، سولفید هیدروژن، رطوبت، گرمای ناشی از سوخت و ساز و دی اکسید کربن
۵. ورود هوای تقریباً بدون کوران که به منظور جلوگیری از سرمای بیش از حد حیوانات جوان به خوبی با هوای سالن آمیخته شده و همچنین جهت جلوگیری از تجمع گرما، سرما، رطوبت، بو و غیره به صورت یکنواخت توزیع می‌شود.
۶. روش‌های خودکار برای کنترل این اعمال بدون نیاز به مراقبت انسانی شبانه‌روزی

در طول تاریخ، برای ایجاد شرایط فوق، انسان‌ها پنجره‌ها را باز و بسته می‌کردند. در صورت عدم انجام این کار، حیوانات دچار کاهش وزن و تولید مثل شده یا جان خود را از دست می‌دهند. امروزه هزینه کارگر و خورد و خوراک و بهای حیوان مانع از چنین روش مدیریتی می‌شود.

برای این منظور به سیستم‌های کاملاً مهندسی شده‌ای نیاز است، ولی اغلب سالن‌های نگهداری حیوانات تنها دارای آگزوز فن هستند که جریان نرم هوای ورودی آن‌ها در مقایسه با جریان ناملایم و خشن فن‌های مکشی ترجیح دارد. به علاوه، ورود هوا از طریق درها و پنجره‌های باز و شکاف‌های ورودی معمول به ندرت قبل از برخورد با حیوانات آسیب‌پذیر می‌تواند به خوبی با هوای اتاق آمیخته شود. همچنین هوا به صورت یکنواخت توزیع و کنترل نمی‌شود و توزیع آن به موقعیت در و پنجره و میزان باز شدن آن‌ها بستگی خواهد داشت.

گرمایش و تهویه نظام‌مند

موسسه‌ای در اوکلاهما، سیستم مهندسی را ارائه کرده که تقریباً برای تمام حیوانات از خرگوش گرفته تا ماکیان و گاو، اسب و حیوانات باغ وحش کاربرد دارد. تجهیزات این سیستم از طریق ارسال هوای بیرون به انتهای ساختمان‌های طویل و اختلاط یکنواخت آن با هوای اتاق در بالای سر و سپس هدایت آن از روی کف جهت جذب رطوبت و بو، قبل از این که آگزوزفن‌ها آن را برگشت بدهند، عمل تهویه را انجام می‌دهند. بدین ترتیب ساختمان‌های با طول نزدیک به ۸۲۰ فوت (۲۵۰ m) قادر هستند که از یک سر تا سر دیگر، به صورت یکسان، هوای تازه برسانند. این سیستم برای گرمایش و توزیع گرما با یکنواختی مشابه نیز قابل استفاده است. تجهیزات در بالای سر بوده و به سادگی آسیب نمی‌بینند. به صورت معمول در این سیستم از آگزوزفن‌های با نصب دیواری یا پنجره‌ای استفاده می‌شود.

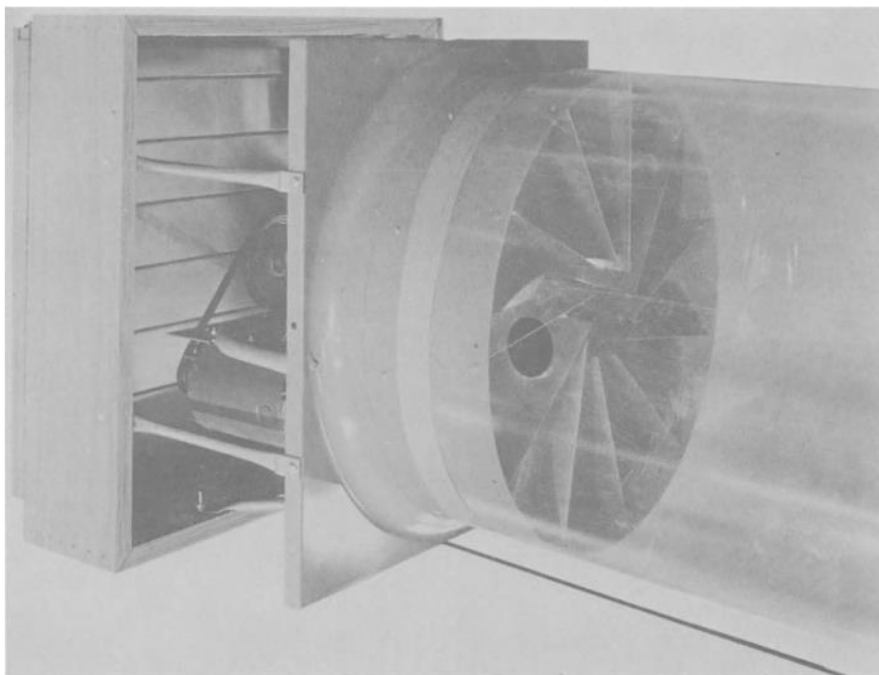
به ویژه، در امتداد خط‌المرکز ساختمان‌های با عرض کمتر از ۳۰ ft (۹/۱ m)، در انتهای سه گوشه زیر شیروانی^۱ ساختمان، در بالای سر دهانه‌های مربعی برای ورود هوا ایجاد می‌شود. در ساختمان‌هایی که ۳۰ تا ۶۰ فوت (۹/۱ تا ۱۸/۳ متر) عرض دارند، دو دهانه که به اندازه نصف عرض ساختمان از هم فاصله دارند، ایجاد می‌شود. در هر یک از آن‌ها یک دریچه کرکره‌ای موتوردار نصب می‌شود که به ترموستات‌های داخلی اجازه می‌دهد تا آن‌ها را به منظور ورود هوای تازه باز کند. شاید در فاصله طولی ۲ فوتی (۶۱ cm) و در راستای آن‌ها، فن‌های محوری افقی در داخل محفظه استوانه‌ای در بالا آویزان بوده و به صورت طولی به پایین می‌دمند. این فن‌ها معمولاً بین $\frac{1}{8}$ تا یک اسب بخار بوده و ۷۸۰ تا ۱۰،۶۰۰ cfm (۰/۳۷ تا ۵/۰ m³/s) را می‌دمند.

به لبه (طوقه) محفظه فن، لوله‌های پلاستیکی افقی طولی به همان قطر متصل می‌شوند. این لوله‌ها دارای جدار نازک شفافی بوده و از سقف آویزان می‌شوند. آن‌ها در امتداد ساختمان‌های کوتاه آویزان شده و در انتهای دیگر خود بسته هستند. وقتی فن‌ها شروع به کار می‌کنند، لوله‌ها باد شده و دارای

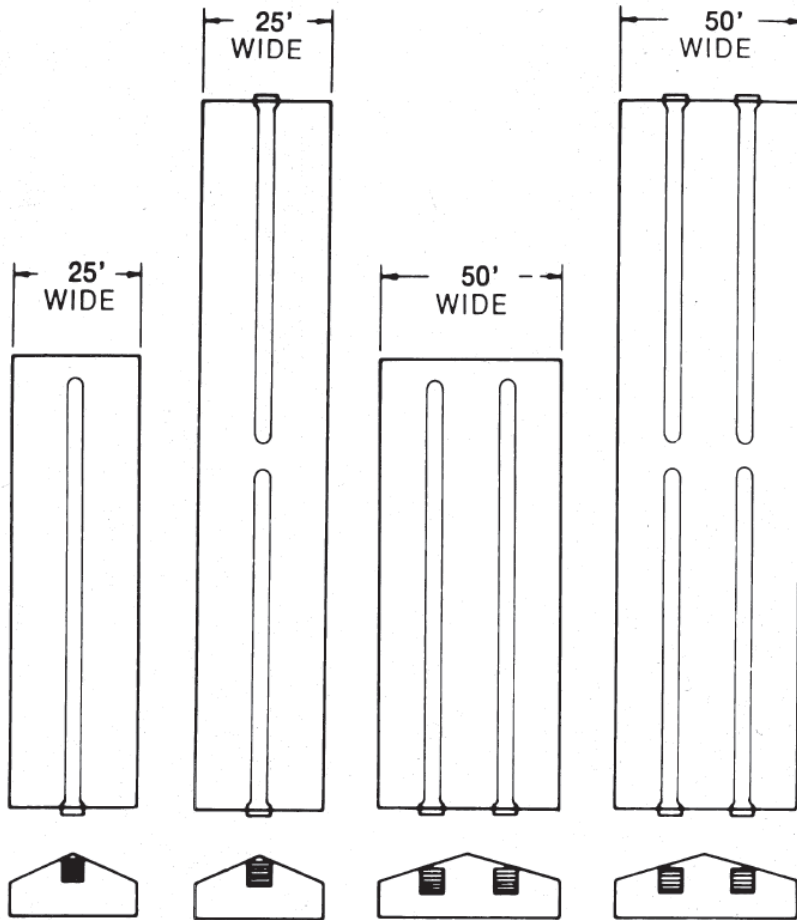
سطح مقطع گردی به صورت یک کانال گرد بالاسری می‌شوند که احتمالاً از نظر قیمت بسیار کارآمد هستند (به شکل ۶ این فصل مراجعه کنید).

سوراخ‌های با اندازه محاسبه شده از قطر ۲ تا ۶ اینچ (۵/۱ cm تا ۱۵/۲ cm) در فاصله ۲ فوت (۶۱ cm) از هم قرار داشته و از بالا به صورت افقی می‌دمند. در سرعت‌های بیش از ۱۲۰۰ fpm (۳۶۶ m/min)، فوران‌های مزبور به صورت جانبی به سمت دیوارهای دو طرف ساختمان رفته و با هوای اتاق آمیخته می‌شوند تا به صورت عرضی تا دیوار بیرونی گردش کرده، و در عرض کف به سمت داخل حرکت کرده تا رطوبت و بویها را جذب کرده و در امتداد خط‌المركز به سمت دیوارها باز گردند. مساحت کل سوراخ‌ها کمتر از سطح مقطع لوله بوده و در نتیجه فشار فن، هوا را تقریباً به صورت یکسان از تمام سوراخ‌ها توزیع می‌کند. در آب و هوای معمولی تا گرم، این سیستم تهویه دمای ساختمان را تنها ۵ تا ۵ F (۲/۸ C تا ۵/۶ C) بالاتر از بیرون نگه می‌دارد. وقتی فن‌ها متوقف می‌شوند، لوله‌ها آویزان شده و به صورت شل قرار می‌گیرند تا این که مجدداً باد شوند (به شکل ۷ این فصل مراجعه کنید).

لوله‌ها در قطرهای ۱۲ تا ۳۰ فوت (۳۰/۵ تا ۷۶/۲ سانتی‌متر) ساخته شده و تا ۴۰۵ ft (۱۲۳/۴ m) طول دارند. هر لوله از ۷۸۰ تا ۱۰،۶۰۰ cfm (۲۲ تا ۳۰۰ m³/min) هوای تهویه شده تحویل می‌دهند. وقتی دریچه‌های کرکره‌ای موتوردار باز می‌شوند، فن‌ها لوله‌ها را باد کرده و هوای تازه بیرون را در سراسر طول توزیع می‌کنند. وقتی ترموستات دریچه‌های کرکره‌ای را می‌بندد، فن‌ها هوای داخل را مکیده و آن‌ها را از طریق لوله‌ها توزیع می‌کنند.



شکل ۶- سیستم تهویه با لوله همرفت بالاسری با نام تجاری Acme. در سمت چپ دریچه‌های کرکره‌ای اجازه می‌دهند تا هوای بیرون به انتهای دیوار سه گوش زیر شیروانی ساختمان وارد شده که در ساختمان‌های با عرض کمتر از ۳۰ ft (۹/۱ m) یک دهانه و در ساختمان‌هایی که ۳۰ تا ۶۰ فوت (۹/۱ تا ۱۸/۳ متر) عرض دارند، دو دهانه وجود دارد که به اندازه نصف عرض ساختمان از هم فاصله دارند. در وسط نیز یک فن لوله‌ای پروانه‌ای به همراه تیغه‌های خروجی مستقیم‌کننده جریان وجود دارد؛ به طوقه آن نیز یک لوله پلاستیکی جدار نازک (لوله همرفت) به عنوان یک کانال باد شونده متصل است که در سمت راست با قطر یکسان در خط مستقیم تا انتهای مسدود خود امتداد داشته و در فواصلی به صورت شل از سقف آویزان است. وقتی این لوله توسط فن باد می‌شود، سوراخ‌های هم فاصله واقع بر جدار، مانند آنچه در سمت راست میانه مشاهده می‌شود، در سراسر طول اتاق فوران‌های هوای تازه را از بالای سر ضرورتاً به صورت افقی خارج می‌کنند. این فوران‌ها به سمت پایین چرخیده و تلاطمی ایجاد می‌کنند که رطوبت و بوی هوای مانده را جذب می‌کند. اگر وزفن‌ها در انتهای مقابل تمام این هوا را به بیرون تخلیه می‌کنند.



شکل ۷- کاربرد لوله‌های همرفت Acme در ساختمان‌های متفاوت. فوران‌های هوای جانبی از یک لوله واحد بهترین شبیه‌سازی برای گردش هوا در ساختمان‌های با عرض کمتر از ۲۵ ft (۷/۶ m) است. در ساختمان‌های با عرض تا ۵۰ ft (۱۵/۲ m) دو لوله بهترین عملکرد را دارند. هر چند یک لوله تکی می‌تواند ۴۰۵ ft (۱۲۳/۴ m) طول داشته باشد ولی در عمل طول نصب شده می‌تواند بر حسب مکان فن فرق کند، اغلب برای بهینه ساختن سرمایش تبخیری طول میانه ساختمان در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه در دو ساختمان طول‌تر نشان داده شده، لوله‌ها در وسط به هم می‌رسند. به علاوه، وقتی ساختمان‌ها به تهویه یا گرمایش غیر معمول نیاز دارند، ممکن است در هر دو سر به فن لوله‌ای نیاز باشد که مستلزم نصف طول لوله هستند.

وقتی حیوانات به گرمایی بیشتر از گرمای ناشی از سوخت و ساز خود نیاز دارند، هیترهای گازی یا برقی در هر طرف فن‌ها، در بالای سر، نصب شده تا گرما از این طریق تغذیه و توزیع بشود. سپس

دریچه‌های کرکره‌ای در فواصل زمانی اندکی باز می‌شوند تا هوای تهویه کافی را بر حسب تعداد و اندازه حیوانات تامین کنند.

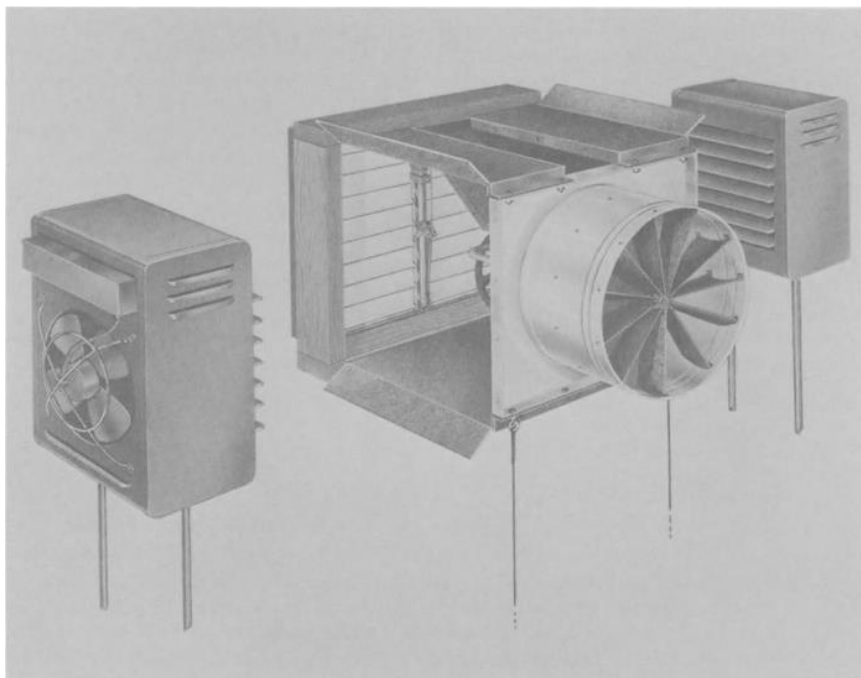
در ساختمان‌های طویل‌تر از 400 ft ($121/2 \text{ m}$)، دریچه‌های کرکره‌ای، فن‌ها و هیترها که در دو سر لوله قرار گرفته‌اند به سمت هم می‌دمند که تقریباً در وسط به هم می‌رسند. در نتیجه ساختمانی که تقریباً 820 ft (250 m) طول و تا 60 ft ($18/3 \text{ m}$) عرض دارد را می‌توان توسط چهار لوله که هر یک دارای یک فن محوری 1 hp است خنک، تهویه یا گرم نمود.

در طی تهویه و گرمایش و همچنین سرمایش، همان گونه که قبلاً ذکر شد، یک یا چند اگزوز فن که اغلب چند سرعتی بوده و معمولاً در نزدیک انتهای بسته لوله نصب می‌شوند، هوای استفاده شده را ترجیحاً به سمت باد و گاه به هر دو طرف یا رو به بالا تخلیه می‌کنند. موقعیت طولی فن چندان اهمیتی ندارد. در حالی که تمام درها و پنجره‌ها بسته هستند این فن‌ها فشار منفی یکسانی در تمام طول ایجاد می‌کنند در نتیجه تمام روزه‌ها (اریفیس‌ها) حجم یکسانی را تخلیه می‌کنند.

در نتیجه چند اگزوز فن به صورت گروهی می‌توانند به همان صورتی به این سیستم کمک کنند که چند فن در فواصل یکسان طولی می‌توانند این کار را انجام دهند. فن‌های چندگانه موجب تسهیل در کنترل پله‌ای تهویه شده ولی اندازه بزرگ آن‌ها از اندازه‌های کوچک اقتصادی‌تر است. وقتی ساختمان دارای حداکثر چهار اگزوز فن است، حداقل یکی از آن‌ها باید برای نرخ هوای خروجی در گرمایش مناسب باشد. می‌توان از یک فن دو سرعتی استفاده کرد.

سیستم‌های صرفاً هوارسان

از آن جا که گرمای ناشی از سوخت و ساز حیوانات و این حقیقت که آن‌ها کاملاً در مجاور هم قرار می‌گیرند باعث می‌شود که در برخی شرایط اقلیمی هیچ نیازی به گرمایش یا سرمایش مصنوعی نبوده و تنها چند وضعیت متغیر از هوارسانی با استفاده از هوای بیرون کفایت می‌کند. در این حالت، بدون استفاده از فن‌های لوله‌ای یا یونیت هیتر، لوله‌های پلاستیکی مستقیماً به دریچه‌های کرکره‌ای موتوردار نصب شده متصل می‌شوند. در اثر مکش توسط اگزوز فن، لوله‌ها پر شده و موجب فوران از سوراخ‌های آن می‌شود. کنترل فقط بر روی خروجی فن و در نتیجه نرخ جریان تهویه انجام می‌شود.



شکل ۸- تحویل گرما از طریق لوله‌های همرفت Acme. در بارهای گرمایی اندک، دریچه‌های کرکره‌ای موتوردار مربوط به هوای بیرون بسته شده و فن‌های لوله‌ای صرفاً هوای اتاق گرم شده توسط حیوانات را گردش می‌دهند. سپس توسط تایمر (زمان‌سنج)، در فواصل زمانی، دریچه‌های کرکره‌ای هوای بیرون باز شده تا اکسیژن و هوای کافی برای دفع رطوبت و بو به بیرون وارد شود. برای ایجاد گرمای بیشتر، دو یونیت هیتر گازسوز، در چپ و راست، هوای گرم تهویه را به قسمت ورودی هر فن لوله‌ای دمیده و از آنجا نیز به لوله‌های همرفت رفته و به صورت یکنواختی به فضای مورد گرمایش داده می‌شود.

در زمستان یا شب‌های سرد، فن‌های تکی که اغلب بزرگ بوده و در دور آرام هستند، در حالی که دریچه‌های کرکره‌ای نیمه باز هستند، به صورت پیوسته کار می‌کنند. این فن‌ها اکسیژن کافی تهیه کرده و رطوبت و بو را خارج ساخته و گرما نیز توسط خود حیوانات تامین می‌شود. سپس با افزایش دما، ترموستات‌های مرحله‌ای، ظرفیت جریان فن را افزایش داده تا فن با حداکثر ظرفیت کار کند. در آب و هوای عادی، تهویه تنها باید دمای داخل را در فاصله ۹ تا ۱۰ F (۵ تا ۶ C) از دمای خشک بیرون نگه دارد (به شکل ۹ این فصل مراجعه کنید).

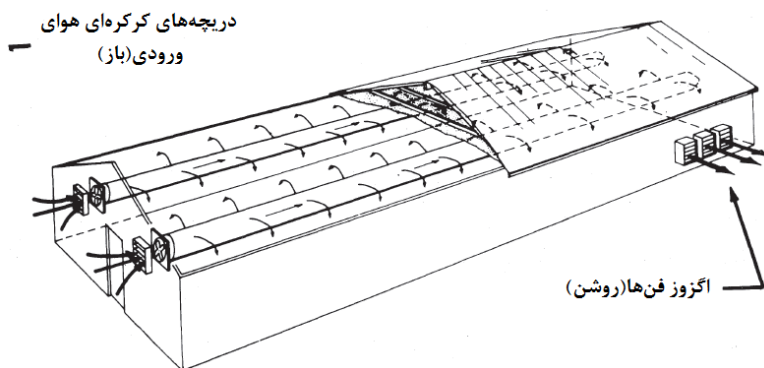
اگر ثابت شود که این سیستم‌های تهویه خالص در زمستان کافی نیستند، یا اگر تعداد حیوانات کاهش یابد، با افزودن فن‌های لوله‌ای و یونیت هیتر (در صورت لزوم) و گردش هوای داخل می‌توان سریعاً سیستم را تغییر داد.

سرمایش تبخیری برای سالن‌های خاص نگهداری حیوانات

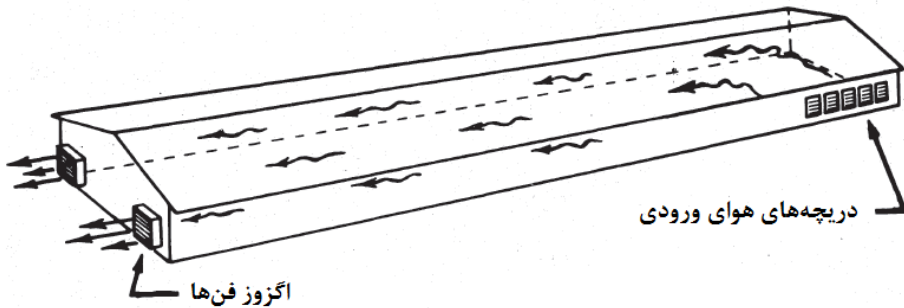
وقتی سرمایش تبخیری مد نظر است، همچون سرمایش به طریق تهویه و هوارسانی، باید پشت بام ساختمان و دیوارهای در معرض تابش خورشید به خوبی عایق شده و ضمن استفاده از رنگ‌های بازتابنده، تمام پنجره‌ها نیز در معرض سایه باشند. این امور موجب صرفه جویی بیشتری در قیاس با هزینه تجهیزات سرمایشی شده و در مصرف برق سالانه صرفه جویی می‌شود.

سیستم‌های سرمایش از سیستم‌های تهویه جدا بوده ولی از اگزوز فن یکسانی استفاده می‌کنند. بر طبق گزارشات، توزیع هوای شسته شده از طریق لوله‌ها موجب ایجاد کوران در زیر خود شده و هوای داغ زیر سقف، که ترجیحاً باید در همانجا ساکن بماند، را به پایین می‌کشد. در نتیجه در طی سرمایش، دریچه‌های کرکه‌ای بسته و فن‌های لوله‌ای خاموش هستند.

در عوض، در دو سر همان ساختمان، یک یا چند پانل سرمایش با ماده واسط صلب ضخیم نصب می‌شود (به فصل ۱۲ مراجعه کنید). اندازه پانل‌ها متفاوت بوده و تا مساحت چند صد فوت مربع نیز می‌رسد. دریچه‌های کرکه‌ای خودکار بیرونی می‌توانند ضمن حفاظت پانل‌ها در برابر وضعیت آب و هوایی، آن‌ها را در هنگام تهویه یا گرمایش مسدود کنند. از مخازن تشتی، پمپ‌های گردش دهنده آب، شیرهای دورریز آب و شیرهای شناور آب جبران در این پانل‌ها استفاده می‌شود. هیچ فنی به آن‌ها متصل نیست.



شکل ۹- چگونگی سیستم Acme موجب تهویه ساختمان‌های دراز و طولی می‌شود. از آنجا که مساحت جریان لوله‌های همرفت بزرگتر از مساحت کل سوراخ‌های آن است، فشار داخلی هوا موجب تساوی جریان در همه جا می‌شود. در نتیجه، دو فن لوله‌ای و لوله‌های همرفت، حجم‌های یکسانی از هوای تازه را به هر بخش ساختمان توزیع می‌کنند. اگر در انتها اگزوز فن‌ها قرار داشته باشند، رطوبت، دما و بوی مسیر، توسط هوای داخلی که به سمت آن‌ها جریان می‌یابد، گرفته می‌شود. سرعت جریان و حجم ویژه نیز افزایش می‌یابد که افزایش مورد دوم موجب صعود هوا در مسیر جریان شده و به منظور کنترل به دیوارک‌های بالاسری نیاز خواهد بود (به فصل ۱۶ مراجعه کنید).



شکل ۱۰- تجهیزات سرمایش تبخیری Acme در ساختمان دامداری و مرغداری که مستقل از لوله‌های همرفت بالاسری بوده ولی از اگزوز فن‌های یکسانی بهره برده و اغلب مکان آن‌ها را تعیین می‌کند. در ساختمان‌های با طول کوچک‌تر از ۳۵۰ (۱۰۶/۷ m)، معمولاً پانل‌های سرمایش با ماده واسط صلب در نزدیک فن‌های لوله‌ای مستقر می‌شوند که اگزوز فن‌ها در سمت مخالف آن قرار دارند. هر چه طول بیشتر باشد افزایش طولی دمای خشک، رطوبت، بو و سرعت نهایی جریان بیشتر است. در ساختمان‌های طویل‌تر، بهتر است فن‌ها به صورت گروهی در وسط طول قرار گیرند و پانل‌های سرمایش (به همراه فن‌های لوله‌ای) نیز در دو سر [ساختمان] قرار گیرند. در هر حالت حیوانات اغلب به سرمایش و هوای تازه نیاز داشته و آن‌هایی که کوران هوای سرد را بهتر تحمل می‌کنند در نزدیک پانل‌ها مستقر شوند. آن‌هایی که گرما، رطوبت، بو و سرو صدای فن را بهتر تحمل می‌کنند نیز در نزدیک فن مستقر شوند.

اگزوز فن‌ها، که اغلب در انتهایی از ساختمان قرار می‌گیرند که از پانل‌ها به دور است، هوای بیرون را از پانل‌ها به درون می‌کشند. هوای شسته شده سنگین نظیر یک رودخانه عمیق از پانل‌ها به سوی فن‌ها جریان داشته و در سر راه خود، گرمای سوخت و ساز، بیرون و خورشید را جذب کرده و آن‌ها را از طریق فن‌ها به بیرون حمل می‌کند. هوای داغ زیر پشت بام به عنوان عایق عمل می‌کند (به شکل ۱۰ این فصل مراجعه کنید).

هوای شسته شده متحرک، رطوبت و بو را نیز جذب می‌کند. به منظور محدودسازی آن‌ها و دریافت گرما، حداکثر طول پیشنهادی برای جریان ۳۵۰ (۱۰۷ m) است. جریان‌های طولانی‌تر به هوای شسته شده بیشتری برای حمل بارهای مختلف نیاز دارد. در ساختمان‌های با عرض و ارتفاع عادی، جریان طولی حاصل می‌تواند به صورت ناراحت کننده‌ای دارای کوران باشد.

در نتیجه برای ساختمان‌های طویل‌تر از ۳۵۰ (۱۰۷ m)، بهتر است اگزوز فن‌ها در وسط و پانل‌های سرمایش در دو انتها باشند. این امر معمولاً مستلزم لوله‌های سرمایش و گرمایش بالاسری است تا به صورت مشابه از یک سر ساختمان شروع شده و در وسط ختم شود.

به هر حال، حیوانات اغلب به سرمایش نیاز داشته و آن‌هایی که در برابر کوران تحمل بیشتری دارند باید در نزدیک پانل‌ها مستقر شوند. بسته به تعداد اگزوز فن‌های فعال، سرعت هوای شسته شده‌ای که پانل‌ها را ترک می‌کند از ۲۵۰ fpm (۱/۳ m/s) یا ۲/۸ mph (۴/۶ km/h) است. بلافاصله در پایین

دست، سرعت ملایم شده و به عرض ساختمان جریان به سمت فن‌ها می‌رود. حیوانات و طیوری که در برابر گرما، بو، رطوبت و سر و صدا مقاوم‌تر هستند باید در نزدیک فن‌ها مستقر شوند که طبعاً در سمت مکش خود تلاطم کمتری را ایجاد می‌کنند.

از آنجا که هوای شسته شده تمایل دارد که اول در پایین حرکت کرده و سپس به آرامی بالا می‌رود، بالای پانل و فن باید همواره از سر بلندترین حیوانات درون ساختمان، مثل خرگوش، خوک‌های کوچک، بره‌ها، و ماکیان که در سطوح مختلف محبوس می‌شوند، بالاتر باشد. البته، ارتفاع بیش از حد موجب ورود هوای داغ زیر سقف شده و باید از آن اجتناب شود. از توری‌های کلفت و سنگین باید برای حفاظت پانل‌ها و فن‌ها در برابر حیوانات استفاده کرد.

این سیستم تحت نظارت کنترل‌گرهای چهار مرحله‌ای بوده که سرمایه‌ش و تهویه را به همراه ترموستات‌های گرمایشی مجزا انجام می‌دهند. این عملکرد چهار مرحله‌ای در صورت لزوم می‌تواند چهار سطح از تهویه هوا را به صورت ملایم و در روزهای داغ نیز یک سطح از سرمایه‌ش تبخیری را تامین کند. حسگرهای دما در فضاهای تهویه شده قرار داده می‌شود، در حالی که کنترل‌گرها می‌توانند در فواصل دورتر، در دفاتر یا جاهای دیگر در فاصله ۵۰۰ ft (۱۵۲ m) قرار بگیرند. چراغ‌های نشانگر مرحله عملکرد را نشان داده، درجه‌های عقربه‌ای بر دما نظارت کرده و کلیدهای قطع و وصل برای کنترل دستی هستند. به صورت اختیاری، در صورت بروز مشکل احتمالی، هشداردهنده‌هایی می‌توانند جهت اعلام هشدار به کاربران استفاده شوند.

به طور مشابه وقتی دمای ساختمان به زیر دمای تنظیم ترموستات می‌رسد، تمام سرمایه‌ش و تهویه عادی متوقف شده ولی تایمرهای خودکار تکرارکننده، فن‌های لوله‌ای و دریچه‌های کرکره‌ای را در هر پنج دقیقه یک بار به مدت کوتاهی فعال می‌کنند تا اکسیژن وارد شده و آلاینده‌ها نیز کنترل شوند. بنابراین چرخه‌هایی که سیستم روشن است را می‌توان از نظر مدت و دور فن تنظیم کرد تا با الزامات واقعی تهویه انطباق بهتری داشته باشد. اگر دماها بیشتر کاهش یابد، فن‌های لوله‌ای گرمای یونیت هیترا را دریافت می‌کنند. در عین حال، آگزوزفن‌ها نیز به جز یک مرحله کوتاه برای دفع گاز و رطوبت، خاموش هستند.

سایر حیوانات

اصول مذکور در بالا باید تقریباً در مورد تمام حیواناتی که به صورت گروهی اسکان داده می‌شوند مثل سگ، اسب‌های مسابقه، حیوانات باغ وحش و سیرک، روباه و مینک دارای ارزش از نظر خز، حیوانات آزمایشگاهی و غیره به کار رود. به ویژه در باغ وحش‌ها از سرمایه‌ش نظام‌مندی باید استفاده شود که بو و مگس را دفع کرده و حیوانات را در ساعات بازدید فعال سازد.

پرسش‌های دوره‌ای

۱. آیا سرمایش تبخیری برای کشاورزی، در مقایسه با سرمایش انسان، از نظر حدود رطوبت بیرونی آزادتر است؟ چرا؟ چرا در کشاورزی مقدماتی و اولیه سرمایش برودتی تقریباً ناشناخته است؟
۲. چه حیوانات یا ماکینانی دارای بالاترین دمای بدن هستند؟ پایین‌ترین مربوط به کدام است؟ آیا هیچ یک در حد دمای بدن انسان هست؟ شرح دهید.
۳. چه حیوان اهلی مثل انسان عرق می‌کند؟ بقیه حیوانات گرمای سوخت و ساز بدن خود را چگونه دفع می‌کنند؟ چه سرمایش تبخیری آن‌ها انجام می‌دهند؟ کدام یک در برابر گرما آسیب‌پذیرتر هستند؟
۴. هزینه‌های اقتصادی گرمای اضافی حیوانات برای صاحبان و پرورش دهندگان آن‌ها چیست؟ چه عوامل دیگری موجب کاهش تولید مثل و سلامتی حیوانات می‌شود؟ چرا تغذیه شبانه در تابستان رایج است؟

سرمایش خوک

۱. به چند روش از طریق سرمایش می‌توان به پرورش دهندگان خوک کمک کرد؟ نحوه صرفه جویی را تشریح کنید. چه دمایی اغلب منجر به مرگ خوک‌های بالغ منجر می‌شود؟
۲. چگونه می‌توان بدون سرمایش بیش از حد بچه خوک‌ها، ساختمان‌های پرورش خوک را خنک کرد؟ در برخی از ساختمان‌های پرورار بندی خوک با فضولات چه می‌کنند؟ چگونه آن‌ها را خنک کرده و بوی آن را می‌زدایند؟
۳. سرمایش و تهویه مرحله‌ای خوکدانی‌های مهندسی شده را شرح دهید. اغلب چه چیزی گرمایش زمستانی را تامین می‌کند؟ چرا آگزوز فن‌های چند سرعتی در اینجا ارزشمند هستند؟
۴. سرمایش بیرونی برای خوک‌ها را شرح دهید. برای پرورش دهندگان چه چیزی ارزش اقتصادی دارد؟ سه روش سرمایش محتمل چیستند؟ کدام یک منجر به سرمایش پوزه حیوان نیز می‌شود؟

سرمایش گاو

۱. روش‌های اولیه سرمایه‌ش گاو را تشریح کنید. استفاده اخیر از سایبان‌های بیرونی با سرمایه‌ش مستقیم با و بدون استفاده از کولر آبی را شرح دهید. چه نتایج اقتصادی حاصل می‌شود؟ مزیت گاو هندی را شرح دهید.
۲. تکنیک‌های ساده برای سرمایه‌ش مستقیم گاوداری‌ها را شرح دهید. وقتی حیوانات در مجاور هم قرار دارند گرمایش زمستانی چگونه است؟
۳. چه چیزی مانع از کاربرد ساده کولرهای با تخلیه فروباد در بسیاری از گاوداری‌ها می‌شود؟ چه راه حلی به نظر امکان‌پذیر است؟ آیا گرد و غبار و بو یک معضل است؟ مگس چه؟
۴. در تولید لبنیات در کجا آسایش انسان نیز احتمالاً مورد ملاحظه قرار می‌گیرد؟ چرا؟ در کجا سرمایه‌ش تبخیری معمول به خنک کردن شیر کمک می‌کند؟

سرمایش مرغداری

۱. در سرمایه‌ش مرغداری از چه روش‌های سنتی استفاده می‌شود؟ چگونه برخی از آن‌ها برای سرمایه‌ش هوا مناسب به نظر می‌رسیدند؟ چرا برخی از آن‌ها سلامت مرغداری را به خطر می‌اندازند؟
۲. جوجه گوشتی، مرغ جوان، سالن تخم‌گذاری، سالن پرورش جوجه (جوجه کشی)، سالن پرورش جوجه گوشتی و سالن رشد را تعریف کنید. در کجا خطر مرگ و میر جوجه‌ها بیشتر است؟ چرا؟
۳. چرا در فرآوری مرغ و واحدهای بسته‌بندی به سرمایه‌ش نیاز است؟ در کجا سرمایه‌ش تبخیری تنها راه حل است؟ در کجا کلاً نامناسب است؟ به چه تمیز کننده هوایی نیاز است؟ در اینجا کدام یک اهمیت بیشتری دارد: آسایش انسان یا حیوان؟
۴. سرمایه‌ش تبخیری چه بهبودی در موارد زیر ایجاد می‌کند: (تولید تخم مرغ)، (ب) نرخ افزایش وزن جوجه گوشتی، (ج) مرگ و میر جوجه و (د) نرخ تولید جوجه از تخم مرغ؟ شرح دهید.
۵. کولرهای آبی در یک سالن تخم‌گذاری در ایلینوی چه یافته‌هایی در طی آزمون داشت؟ در سالن پرورش مرغ جوان، چه نرخ تعویض هوایی به جوجه‌های جوان کمک می‌کند؟ به مسن‌ترها چه نرخی؟ مراحل تهویه و سرمایه‌ش را شرح دهید.
۶. یک سیستم سرمایه‌ش با استفاده از شکاف را برای سالن‌های پرورش جوجه گوشتی شرح دهید. شکاف‌ها چه مزایایی داشتند؟ چه نتایج اقتصادی حاصل شد؟

۷. سیستم‌های پد و فن با استفاده از پانل‌های با ماده واسط صلب را شرح دهید. چه چیزی در این سیستم‌ها موجب توزیع غیر یکنواخت دما می‌شود؟ چگونه می‌توان آن‌ها را کوچک‌تر کرد؟ هزینه احتمالی این سیستم‌ها را با سیستم‌هایی که از کولرهای آبی با تخلیه فروباد یا مشابه آن کار می‌کنند مقایسه کنید.

سالن‌های نگهداری از حیوانات

۱. در مورد سالن‌های نگهداری از حیوانات پنج هدف طراحی را در حالت ایده‌آل ذکر کنید. "سیستم لوله همرفت" را برای گرمایش و تهویه تشریح کنید. چه مدتی یک ساختمان می‌تواند با دو لوله این چنینی که در وسط به هم می‌رسند سر کند؟ چرا از آن‌ها نمی‌توان برای سرمایش تبخیری حیوانات استفاده کرد؟
۲. دو طرح رایج برای آگروز فن را شرح دهید. بهترین مکان نصب آن‌ها کجا است؟ چرا؟ وقتی آن‌ها خاموش می‌شوند چه چیزی دهانه آن‌ها را می‌بندد؟ چه چیزی مانع از ورود باران می‌شود؟
۳. چرا جریان‌های هوای شسته شده، که در طول یک سالن طویل نگهداری از حیوانات حرکت می‌کنند، به صورت پایدار دما را دریافت می‌کنند؟ و تمایل به صعود پیدا می‌کنند؟ چه راه حل‌هایی امکان‌پذیر است؟ چرا نمی‌توان به سادگی جریان هوا را افزایش داد؟

فصل ۱۶

سرمایش گلخانه‌ها

رشد و تولید گیاهان به حاصلخیزی خاک و تامین آب بستگی داشته و در فراتر از آن به شرایط محیطی شامل سرعت، دما، رطوبت و میزان دی اکسید کربن هوا، و شدت و مدت نور وابسته است. به ویژه، در رشد گیاهان دو فرآیند در تضاد با هم قرار دارند: فتوسنتز و تنفس. برخورد نور به شاخ و برگ موجب تبدیل مواد مغذی خاک و CO_2 به غذا و رشد گیاه می‌شود. هر چه نور بیشتری موجود باشد، رشد بیشتری حاصل می‌شود. متأسفانه، دمای بالای هوا، برگ‌ها را پژمرده کرده در نتیجه آن‌ها برای بالا آوردن آب از ریشه‌ها غذا مصرف می‌کنند تا با فراتراوش (پس دادن بخار)^۱ آن به هوا از طریق تبخیری خنک شوند.

بنابراین رشد خالص برابر است با فتوسنتز منهای تنفس: یا این که نور موجب رشد شده ولی گرمای اضافی موجب رکود یا مرگ می‌شود. همچنین هوای متحرک تازه به خاطر CO_2 موجود در آن، برای سرمایش تبخیری و برای دفع اکسیژن از برگ‌ها نیاز است.

گلخانه‌ها اساسی‌ترین تلاش انسان برای بهبود محیط فوقانی سیاره هستند. گلخانه‌ها اغلب از طریق گیر انداختن گرما و نور خورشید در طول آب و هوای سرد، برای تداوم فصول رویش طراحی شده و در فصل تابستان موجب گرمایش بیش از حد گیاهان می‌شوند. اگر در این هنگام سرمایش صورت

1- Transpiring

گیرد، نور فراوان موجب بروز یک معجزه رویش شده که تاثیر آن بیشتر در گوجه فرنگی، که شاید پیشرو گیاهان گلخانه‌ای است، بهتر مشخص می‌شود.

گوجه فرنگی

نخست این که گوجه فرنگی به چند برابر شدت نور ۱۰۰۰ ft-candle لازم برای اشباع‌سازی فرآیند فتوسنتتیک برگ نیاز دارد، زیرا برگ‌های فوقانی بر روی برگ‌های زیرین سایه می‌اندازند. البته شدت اشباع‌سازی با دمای هوا تغییر کرده و در روزهای ابری به هوای خنک‌تری نیاز دارد. مدت زمان لازم برای روشنایی با شدت نور موجود نیز فرق می‌کند. در زمستان شدت نور پایین و ساعات کوتاه طول روز موجب محدودیت تولید شده ولی در تابستان باید از نظر گرمایش بیش از حد کنترل صورت گیرد.

موضوع دما پیچیده است. دانه‌های گوجه فرنگی در ۸۰ F (۲۶/۷ C) بهتر جوانه می‌زنند ولی پس از آن به کاهش تدریجی دمای هوا نیاز دارند. در شدت نورهای روزانه پایین، دمای هوای بهینه برای گوجه فرنگی Alisa Craig در روز ۵۵ F (۱۲/۸ C) و در شب ۶۰ F (۱۵/۶ C) است. در طی شدت تابش کامل روزانه، همچون تابستان، بهترین میزان برای روز ۷۳ F (۲۲/۸ C) و در شب ۶۰ F (۱۵/۶ C) است. برخی گلخانه‌ها در شب‌های تابستان به دمای شبانه مذکور دست یافته در نتیجه پس از این که ارتفاع گیاهان جوان ۴ تا ۸ (۱۰ تا ۲۰/۳ cm) اینچ رشد پیدا کرد به بیرون منتقل می‌شوند.

دوم این که، تغییرات رطوبت تاثیر ناچیزی داشته ولی سرعت‌های هوای از ۲۰ تا ۵۰ fpm (۶/۱ تا ۱۵/۲ m/min) رشد بهینه را ایجاد می‌کنند. بدین ترتیب به دلیل گردش CO₂ کافی، جذب توسط شاخ و برگ گیاه تسهیل می‌شود. وجود CO₂ کافی مستلزم ورود پیوسته هوای بیرون یا تغذیه مصنوعی و پیوسته آن در اثر فساد مواد آلی درون خاک است.

نهایتاً این که دماهای شب دارای اثرات بی حساب و کتابی هستند. برای این که میزان رسیدن محصول در نور روز ۷۲ F (۲۲/۲ C) بهینه باشد، دماهای شبانه هوای ۵۰ تا ۶۱ F (۱۰ تا ۱۶/۱ C) در مقایسه با دمای ۷۱ F (۲۱/۷ C) از نظر وزنی دو و نیم برابر محصول بیشتر می‌دهد. دماهای شبانه خنک‌تر زمان رشد را ۲۵ درصد کوتاه‌تر می‌کنند. دمای روزانه بهینه ۷۳ F (۲۲/۸ C) است که تا ۸۵ F (۲۹/۴) قابل تحمل است.

این افزایش تولید قابل ملاحظه، نویدبخش رشد گوجه فرنگی به صورت کامل در گلخانه‌های عظیم است. امروزه این کار در بریتانیا و هلند انجام شده و تولید عادی به میزان ۴۰ تا ۵۰ تن در هر آکر^۱ (۸۹/۴ تا ۱۱۲/۲ تن در هر هکتار) می‌رسد. در صورت مراقبت در گلخانه‌های خنک نشده، ۸۰ تا

۹۰ تن در هر آکر (۱۷۹/۴ تا ۲۰۱/۶ تن در هر هکتار) به نظر قابل حصول است. البته در گلخانه‌هایی که خنک می‌شوند به نظر می‌توان تا ۱۶۰ تن در هر آکر (۳۵۸/۷ تن در هر هکتار) را تولید کرد.

بر طبق گزارشات، حداقل در دو مکان از این مقدار تجاوز شده‌است. در جزیره‌العرب چهار گلخانه با پوشش صلب پلی اتیلن به ابعاد ۱۲۰ در ۲۰۰ فوت (۳۶/۶ در ۶۱ m) و ۴۸ گلخانه بادی به ابعاد ۲۴ در ۱۱۰ فوت (۷/۳ در ۳۳/۵ m) با مساحت کل ۵ آکر. کمیابی آب تازه به نفع گیاهان شده و از آب دریا به همراه کولرهای با ماده واسط صلب استفاده می‌شود. در طول سال چند بار محصول برداشت می‌شود که در هر بار به ۷۱ تن در هر آکر (۱۵۹ تن در هر هکتار) می‌رسد. میزان باردهی کاهویی که پس از آن کشت می‌شود در هر برداشت به ۲۵ تن در هر آکر (۵۶ تن در هر هکتار) می‌رسد.

نکات جالبی وجود دارد: رطوبت بالای داخلی موجب کاهش فراتراوش و در نتیجه نیاز به آب تازه شده و هوای شسته شده ناشی از آب شور به گیاهان آسیبی نرسانده و سقف پلاستیکی نازکی که توسط فشار هوای شسته شده حفظ می‌شود، به میزان زیادی هزینه سرمایه‌گذاری را کاهش می‌دهد.

مکان دیگر مربوط به قبیله سرخیوستان Quenchan در آریزونا است که دارای دو گلخانه ۲۴۶ در ۸۱۷ فوت (۷۵ در ۲۴۹ m) و یک گلخانه برای تولید جوانه به ابعاد ۸۴ در ۱۰۹ فوت (۲۵/۶ در ۳۳/۲) به مساحت کل ۵ آکر است. با استفاده از آبیاری با آب تازه و سرمایه‌ش با ماده واسط صلب به کمک آب شور صحرا، میزان تولید گوجه فرنگی به ۱۲,۰۰۰ پوند (۵۴۴۳ kg) در روز و برای یک سال به ۲۵۰ تن در هر آکر (۵۶۰ تن در هر هکتار) می‌رسد.

سایر گیاهان خوراکی

با آزمون‌های فراوان، بسیاری از گیاهان خوراکی دیگر، شامل توت فرنگی می‌توانند رفتار نیمه معجزه گرانه مشابهی را از خود نشان دهند. برای مثال، وقتی دمای گلخانه از ۷۵ F (۲۳/۹ C) بیشتر می‌شود گیاهان سردسیری زیر به زحمت می‌افتند:

چغندر/ کرفس/ کاهو فرانسوی/ جعفری/ کلم بروکلی/ کاهو سوییسی/ تره فرنگی/ نخود/ کلم/ کلم چینی/ کاهو/ تربچه/ هویج/ اندیو/ پیاز/ سیر/ اسفناج^۱

محصولات گرمسیری زیر نیز وقتی دمای گلخانه از ۹۰ تا ۹۵ F (۳۲/۲ تا ۳۵/۰ C) بیشتر می‌شود به زحمت می‌افتند:

1- Beet/ Celery/ Kale/ Parsley/ Broccoli/ Swiss Chard/ Leek/ Pea/ Cabbage/ Chinese Cabbage/ Lettuce/ Radish/ Carrot/ Endive/ Onion/ garlic/ Spinach (به ترتیبی که در متن بالا آمده‌است.)

خیار/قارچ/ فلفل / لوبیا/ اسفناج زلاند نو/ گوجه فرنگی/ بادمجان/ بامیه/ هندوانه^۱

سرمایش تبخیری از گرمایش بیش از حد و عوارض آن جلوگیری می‌کند.

مزایای ویژه

سرمایش تبخیری موجب سرمایش عالی گلخانه می‌شود. در اکثر مناطق، این روش می‌تواند از طریق ۶۰ تا ۱۰۰ بار تعویض هوای شسته شده در هر ساعت، دمای داخلی را در هنگام روز به کمتر از F ۸۰ (C ۲۶/۷) برساند. بدین ترتیب دیگر نیاز نیست تا سقف گلخانه را سفید کرده یا در تابستان پوشاند و می‌توان اجازه داد تا نور به صورت کامل وارد شده و موجب بهبود رشد شود. این جریان هوا، موجب عبور CO_2 فراوان لازم برای رشد از روی شاخ و برگ گیاهان شده و در عین حال O_2 پس داده شده را خارج می‌سازد. در عین حال اغلب گرد و خاک ناخواسته، حشرات، گرده‌های گیاهان غریبه و دیگر آلاینده‌های هوا را از طریق کولرها فیلتر می‌کند.

همچنین، همان گونه که ذکر شد، رطوبت حاصل موجب کاهش نیاز گیاه به آبیاری شده و در عمل بخشی از آن چه که در کشاورزی در فضای آزاد بدان نیاز بود را مصرف می‌کند. موضوع رو به تزاید کمبود آب در تمام دنیا و ایالات متحده برقرار است.

رطوبت ناشی از هوای شسته شده موجب کاهش بیشتر فراتراوش گیاهان از آب داخلی مورد نیاز برای انتقال مواد مغذی شده و در نتیجه از پژمردگی و ترک پوست ساقه اغلب گیاهان جلوگیری می‌شود. ثابت شده که رطوبت‌های نسبی تا ۹۰٪ ایمن بوده و رطوبت نسبی بین ۵۰ تا ۷۵ درصد ایده‌آل است. در هوای شسته شده رطوبت نسبی بین ۸۰ تا ۹۰ درصد بوده و قادر است تا گرمای گلخانه را جذب کرده و رطوبت نسبی آن (و نه رطوبت مطلق) را کاهش دهد.

پوشش گلخانه‌ها عموماً اجازه عبور امواج کوتاه اشعه‌های خورشیدی را داده ولی مانع از فرار امواج با طول موج طویل‌تر شده و امواج کوتاه‌تر در داخل باقی می‌مانند. بنابراین، وقتی گلخانه‌ها گرم می‌شوند اغلب دارای دمای خشک F ۲۰ (C ۱۱/۱) بالاتر از بیرون هستند.

در اغلب شرایط اقلیمی، کولرهای تبخیری مستقیم با ضریب تاثیر ۸۰ درصد به سادگی گلخانه‌ها را ۱۰ تا F ۲۰ (C ۵/۶ تا C ۱۱/۱) خنک‌تر از دمای بیرون، یا بیش از F ۳۰ (C ۱۶/۷) کمتر از گلخانه‌های معادل سرمایش نشده، ۱۷ تا F ۲۱ (C ۹/۴ تا C ۱۱/۷) کمتر از گلخانه‌های بدون سرمایش ولی در معرض سایه، F ۱۵ (C ۸/۳) کمتر از گلخانه‌های بدون سرمایش دارای قطعات سایه گستر در پوشش

1 -Cucumber/ Mushroom/ Pepper/ Bean/ New Zeland Spinach/ Tomato/ Eggplant/ Okra/ Watermelon

(به ترتیبی که در متن بالا آمده‌است.)

و F_{۱۰}(C ۵/۶) کمتر از گلخانه‌های خنک شده توسط دریچه‌های هواکش دارای تهویه طبیعی خنک می‌کنند. طبیعی است که قابلیت تولید و روحیه کارگران درون گلخانه نیز به میزان زیادی بهبود می‌یابد.

سرمایش برودتی نیز می‌تواند به صورت مشابه عمل کند ولی نمی‌تواند با قیمت مناسب جریان هوای تازه و روبش CO₂ را تامین کند. بر عکس، وقتی در یک گلخانه به مساحت تقریبی یک آکر در کنکتیکات از سرمایش تبخیری با یک بار تعویض هوا در دقیقه استفاده شد، افزایش محصول ظرف یک تابستان هزینه‌های نصب را مستهلک کرد.

از روش برودتی در گلفروشی‌ها استفاده می‌شود که در آن جا گل‌ها بریده شده و گیاهان در ۳۳ تا F ۴۵(۵۵/۰ تا C ۷/۲) نگه داشته می‌شوند تا عمر آن‌ها طولانی‌تر شده یا زرق و برق بیشتری داشته باشند.

پرورش گل

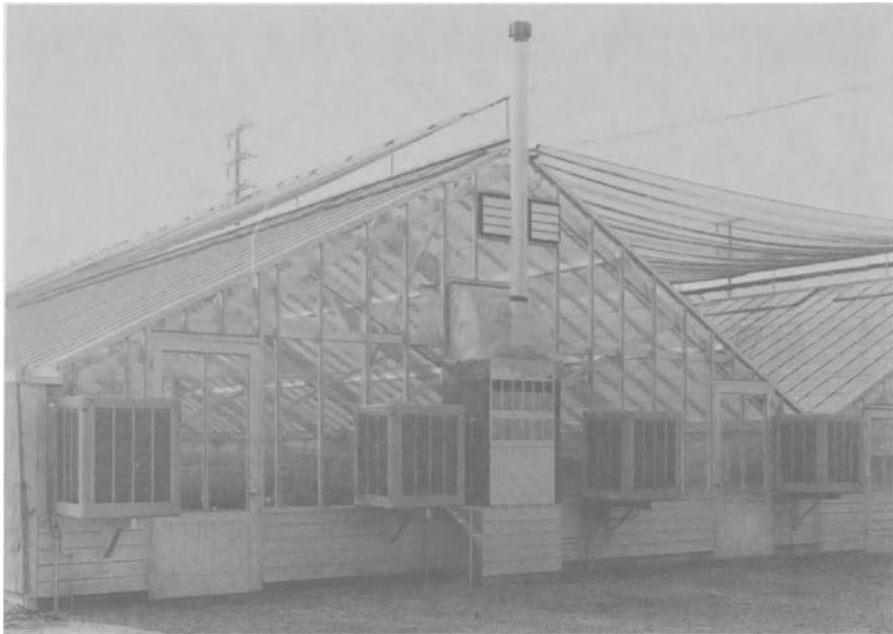
پژوهشگران دانشگاه ایالتی کانزاس، گل‌های میخک صد پر، میمون و داوودی را با سه سیستم سرمایش تابستانی برای گلخانه مورد آزمون قرار دادند: سرمایش تبخیری مستقیم، تنک مه و مه (به سرمایش مرغداری مراجعه کنید) و در حالت بدون سرمایش. سرمایش تبخیری موجب تولید بزرگترین و پر فروش‌ترین گل‌ها شد. در رده بعدی سرمایش با مه قرار گرفت. در حالت بدون سرمایش حدود ۴۰ درصد گیاهان از بین رفتند در حالی که این مقدار در سرمایش تبخیری به ۸ درصد رسید.

همچنین میخک‌های خنک شده شاخ و برگ بیشتری داده و ۴۷ درصد بیشتر گل داده که بهره اقتصادی بزرگی را به همراه داشت. در مورد گل میمون، هر چه دما پایین‌تر باشد، ارتفاع آن‌ها و زمان‌های گل‌دهی یکنواخت‌تر است. در مورد گل داوودی، که در روز مادر بسیار پر فروش است، کنترل دما موجب گل‌دهی سریع‌تری شده که برای تمام پرورش‌دهندگان اهمیت بیشتری دارد. وقتی برگ‌های تزئینی نظیر فیلادندرون‌ها^۱ هوای با سرعت ۳۹۰ fpm (۱۱۹ m/min) را دریافت می‌کنند تا با شدت نور بالا مقابله کنند، گیاهان بلندتر شده و اندازه برگ‌ها تا سه برابر حالتی می‌شود که این گیاهان در هوای ساکن پرورش داده می‌شوند.

آن چه که برای نمونه‌های بالا ذکر شد تقریباً برای انواع دیگر مثل گیاهان خاص و ارکیده نیز صدق می‌کند. بنابراین لازم است تمام پرورش‌دهندگان تجاری گل و گیاهان تزئینی سرمایش تبخیری را مد نظر قرار دهند.

سیستم‌های سرمایش گلخانه

با توجه به بی‌اعتباری تهویه تنها و بالاتر از حد لزوم بودن مه‌پاشی، دو سیستم اساسی باقی می‌ماند. ارزان‌ترین و ساده‌ترین تاسیسات مستلزم کولرهای آبی، آبی-پرتابی، با پد افشانه‌ای یا با ماده واسط صلب مجهز به فن تولید انبوهی هستند که هوای شسته شده را به صورت طولی از یک سر گلخانه دمیده تا از سر دیگر آن خارج شود. اغلب آن‌ها در ارتفاع کمر وارد شده و قبل از پخش بر روی گیاهان، به سمت راهرو جریان می‌یابند (به شکل ۱ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۱- کولرهای آبی با نام تجاری Essick که از یک سر یک گلخانه طویل عمل سرمایش و رطوبت‌زنی را انجام می‌دهند. یک کولر مشابه دیگر از انتهای دیگر خنک می‌کند زیرا این کولرها به ندرت قادر هستند که هوای شسته شده را بیش از ۵۰ ft (۱۵/۲ m) جریان دهند. به کوره مربوط به گرمایش زمستانی (در وسط) و صفحات مشبک سایه‌گستر تابستانی واقع در سقف توجه نمایید.

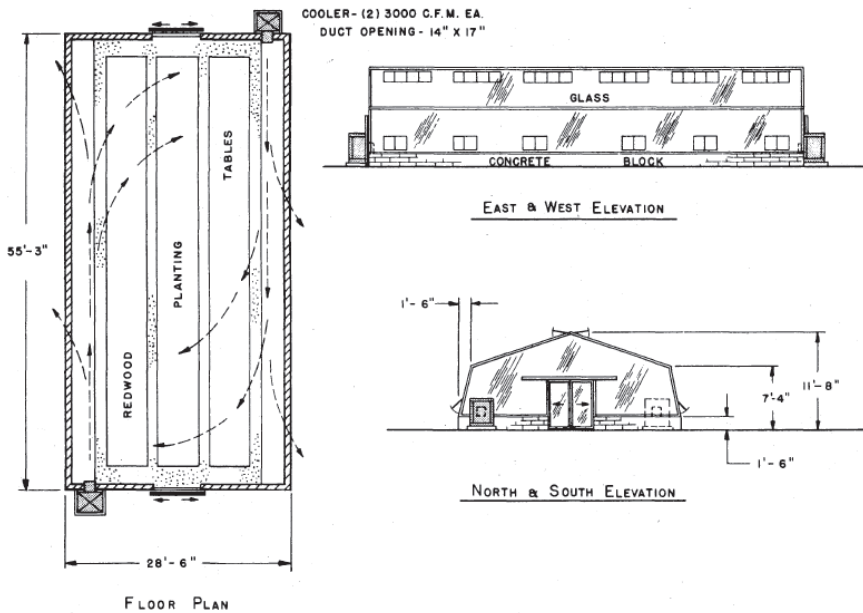
یک معضل بزرگ سرعت هوا است. به منظور جلوگیری از برهم خوردن بیش از حد برگ، جوانه و غنچه گیاهان، بسیاری از پرورش دهندگان هوای شسته شده را به زیر نیمکت‌های مورد استفاده تمام گیاهان فرستاده تا به سمت بالا فیلتر شده و با سرعت معتدل از مجاور گیاهان عبور کرده تا فشار جانبی ایجاد نکنند.

مشکل دوم، گرادبان دمای حاصل است که بین دو سر ساختمان ایجاد می‌شود. در نتیجه وقتی گلخانه‌های کوچک دارای نیمکت‌هایی در طول هر دیوار هستند، بیشترین یکنواختی در سرمایه‌ش وقتی حاصل می‌شود که دو کولر در راستای طولی در زیر آن‌ها، به صورت روبروی هم قرار داشته باشند.

این امر موجب گردش از سر به ته محیطی یا مماسی در زیر نیمکت‌ها و مقدار کمتری نیز در بالای آن می‌شود. گرادبان‌های دما ناچیز بوده و هوای شسته شده استفاده شده، از طریق دریچه‌های هواکش در روی دیوارها، یا هر مکان دیگری در بالای سر به سمت بام خارج می‌شوند. تمام تجهیزات در بیرون بوده و موجب افزایش فشار داخلی در برابر نفوذ هوای داغ و آلاینده‌ها می‌شوند (به شکل ۲ این فصل مراجعه کنید).

متاسفانه این کولرها به ندرت می‌توانند جریان‌های هوای شسته شده را بیش از ۳۰ تا ۵۰ فوت (۹/۱ تا ۱۵/۲ متر) به پیش برانند در نتیجه در گلخانه‌های طویل‌تر می‌توان از کولرهایی در فواصل مختلف در طول آن استفاده کرد تا به صورت متقاطع از طریق دیفیوزرهای دیواری دمیده شوند که دارای هواکشی جهت حفاظت از گیاهانی هستند که بلافاصله قبل از آن قرار گرفته‌اند. بر طبق گزارشات، از کولرهای با خروجی $11,000 \text{ cfm}$ ($5/2 \text{ m}^3/\text{s}$) به صورت موفقیت آمیزی در گلخانه‌های عریض استفاده می‌شود.

فاصله دهی بین این کولرها بر طبق تعداد دفعات تعویض هوای مورد نظر در هر دقیقه محاسبه می‌شود. به ازای یک بار تعویض، هر کولر حجمی از گلخانه که با ظرفیت تایید شده آن برابر است را خنک و تهویه می‌کند. به ازای $1/5$ بار تعویض هر کولر به اندازه دو سوم، به ازای هر ۲ بار تعویض، به اندازه نصف ظرفیت و ... هوا را خنک می‌کند (به شکل ۳ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۲- سرمایه‌ش توسط جریان مماسی کولرها در یک گلخانه کوچک موجب اطمینان از یکنواختی دما می‌شود. تحویل هوا از زیر نیمکت موجب حداقل شدن برخورد هوا با گیاهان می‌شود. هوای شسته شده به صورت مارپیچی از بین آن‌ها به بالا رفته و سپس از دهانه‌های هواکش به سمت بام خارج می‌شود. از کولرهای آبی، آبی-پرتابی، یا پد افشانه‌ای یا کولرهای کوچک با ماده واسط صلب می‌توان استفاده کرد. مکان این کولرها موجب هیچگونه اتلافی در فضای نیمکت‌ها نشده و موجب سهولت در نگهداری و تعمیر آن‌ها می‌شود. از آب دور ریز می‌توان با استفاده از پمپ‌های چگالشی برای آبیاری استفاده کرد.

در گلخانه‌های طولی، کولرهای بزرگی در ارتفاع در یک سر نصب شده و هوا را به لوله‌های همرفت سوراخ‌دار، نظیر آنچه در سالن‌های نگهداری حیوانات استفاده می‌شود، می‌دهد. این لوله‌ها که از سقف آویزان شده و به صورت طولی امتداد دارند، در طول خود هوای شسته شده را به صورت یکنواخت توزیع می‌کنند.

گلخانه‌های باریک دارای یک لوله همرفت بوده که در مرکز گلخانه به صورت طولی امتداد دارد. گلخانه‌های پهن‌تر می‌توانند دارای دو یا سه لوله هم فاصله و موازی هم باشند. به هر حال، هوای شسته شده تازه با یک تلاطم متوسط به تمام گیاهان رسیده و از طریق دمپ‌های بارومتری یا آگزوز-فنهایی که در دیوارهای جانبی یا بالای سر مستقر هستند، خارج می‌شود.

در حالت کلی، کولرهای آماده (پکیج) تلاطم داخلی بیشتر و دمای یکنواخت‌تری را در مقایسه با "سیستم‌های فشار منفی" می‌دهند که در زیر مورد بحث قرار می‌گیرند. در واقع، آن‌ها می‌توانند در

گیاهانی که دارای بخش‌های نر و ماده بر روی یک غنچه (شکوفه) هستند، عمل گرده‌افشانی را انجام دهند.

همچنین معمولاً قیمت آن‌ها کمتر و انعطاف‌پذیری آن‌ها بیشتر است. با استفاده از فن‌های دو یا سه سرعته، مصرف برق آن‌ها نیز قابل قبول است.

سیستم‌های پانل دیواری و فن

گلخانه‌های بزرگ و بسیاری از گلخانه‌های کوچک، نظیر سالن‌های نگهداری حیوانات؛ توسط پانل‌های دیواری با ماده واسط صلب و اگزوز فن خنک می‌شوند (به فصل ۱۲ مراجعه کنید). البته، بارهای حرارتی در اینجا بسیار بزرگتر است و پانل‌های سرمایشی اغلب تمام دیوارهای سمت باد را در بر می‌گیرند. در گلخانه‌های کوچک، جریان می‌تواند طولی باشد به طوری که پانل‌های سرمایشی در سراسر دیوار یک سر گلخانه یا مجاور دیوارهای جانبی بوده و در انتهای دیگر نیز چندین اگزوز فن قرار دارند.

بین پدها و فن‌ها ترجیحاً فاصله ۱۰۰ تا ۲۲۵ فوت (۳۰/۵ تا ۶۸/۶ متر) وجود دارد. در صورتی که فاصله بیشتر باشد، معمولاً جریان هوای داخلی و سرعت‌ها برای به حداقل رساندن اختلاف دمای کولر تا فن غیر قابل قبول است. در ساختمان‌های طولی‌تر، پانل‌ها در دو انتها توسط فن‌هایی در میانه طول پیشنهاد می‌شوند. برای صرفه جویی در فضای دیوار، از فن‌های سقفی نیز می‌توان استفاده کرد.

گلخانه‌های بزرگ چند دهنه به مثابه چندین ساختمان مجاور هم هستند که دیوار حائل ندارند. جریان معمولاً عرضی است، دیوارهای خارجی سمت باد دارای پدهای طولی پیوسته هستند. در سمت مخالف باد اگزوز فن‌ها قرار می‌گیرند. به منظور بهترین توزیع جریان هوا در اطراف گیاهان، فاصله فن‌ها از هم باید کمتر از ۲۵ فوت (۷/۶ متر) باشد. این ساختمان‌ها می‌توانند حداقل شش دهنه داشته باشند. جریان چه طولی باشد و چه عرضی باید نرم، پایدار و آرام (نه مغشوش) بوده و با اکثر گیاهان به صورت یکسان تماس یابد. (به شکل ۴ مراجعه کنید). فشار منفی فن‌ها به پدها وارد شده و در نتیجه گلخانه‌ها باید با استفاده از دیوارها و بام درزبندی شده و درها و پنجره‌های چفت در برابر نشتی محافظت شوند.

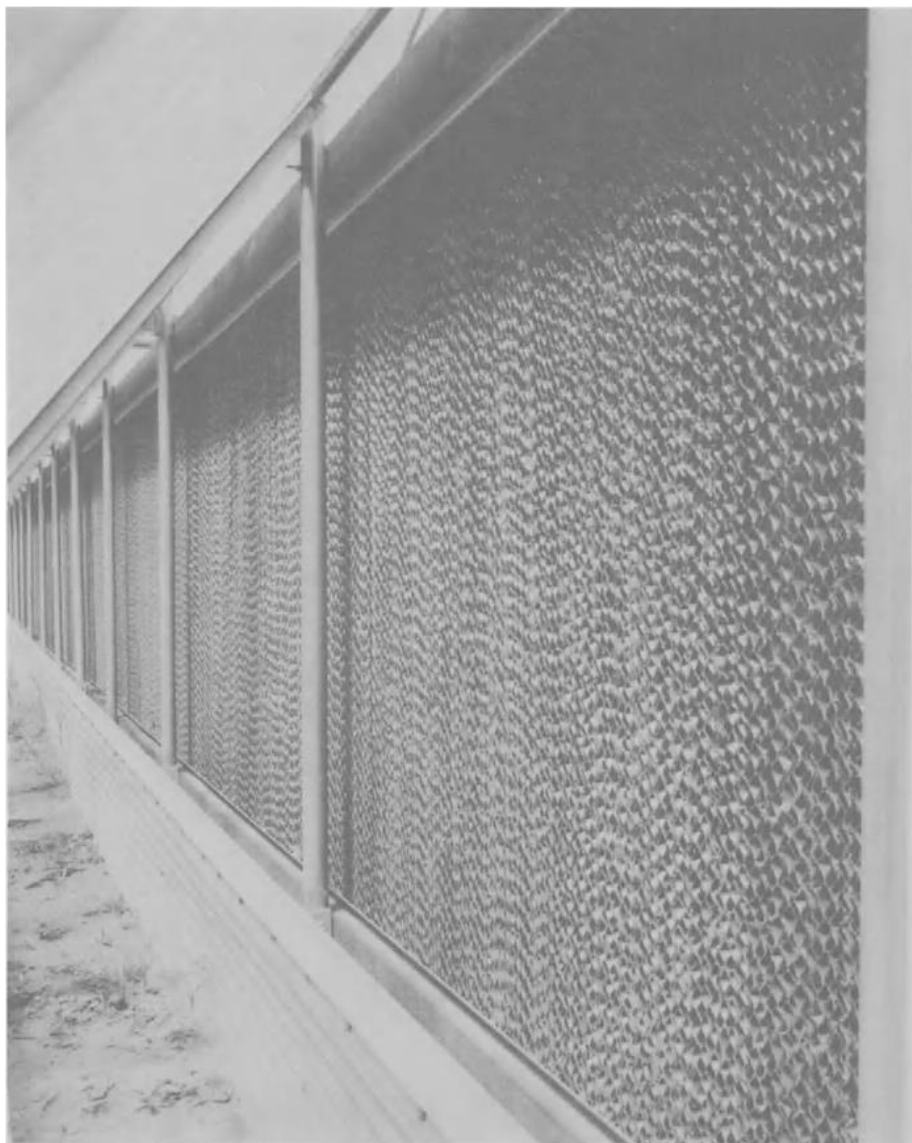
پدهای دیواری

اولین پانل‌های سرمایش از نوع پوشالی بود ولی امروزه تمام آن‌ها از نوع ماده واسط صلب است (به فصل ۱۲ مراجعه کنید). که اغلب ۴ اینچ (۱۰/۲ cm) ضخامت داشته و برای تحویل ۲۵۰ cfm هوای شسته شده به ازای هر فوت مربع (۱/۲۷ m³/s/m) طراحی می‌شوند. ماده واسط به صورت تختال‌های

عمودی به عرض ۱۲ اینچ (۳۰/۵ cm) بوده که در ارتفاعهای از ۲ تا ۸ فوت (۰/۶۱ تا ۲/۴ متر) موجود هستند. ماده واسط صلب، آلاینده‌های ورودی درون هوا را حذف کرده که بر طبق گزارشات حتی توفان شن در جزیره‌العرب را هم شامل می‌شود.



شکل ۳- کولرهای صنعتی Essick که به صورت طولی به راهروهای گلخانه می‌دمند. به پدهای بلند از نظر بازده خیس‌کنندگی، اختلاف در ارتفاع دهانه‌های خروجی برای جای‌دهی جریان هوای شسته شده در بالا (و نه در خلاف جهت)، گیاهان نازک و سفیدکاری که تابستان‌ها به صورت سنتی در گلخانه‌ها برای حفاظت در برابر نور خورشید می‌شود توجه کنید. جریان متلاطم هوای شسته شده موجب ایجاد دمای یکنواخت در یک فاصله قابل ملاحظه از کولر می‌شود.



شکل ۴- یک پانل دیواری سرمایه‌شی با ماده واسط صلب با نام تجاری Aerovent به منظور جریان عرضی در گلخانه‌ها. این پانل‌ها، که بهتر است رو به جهت باد حاکم باشند، یک جریان بسیار یکنواخت کم تلاطم را در داخل ایجاد می‌کنند که کمترین صدمات را در اثر سرعت هوا برای گیاهان ایجاد می‌کند. البته، افزایش دمای داخل در جهت جریان که بیشتر از کولرهای آماده (پکیج) است موجب می‌شود که در مسیر آگروز فن، هوای شسته شده تمایل بیشتری به صعود داشته باشد.

مساحت مورد نیاز پد با میزان نیاز به هوای شسته شده فرق می‌کند. محاسبات مشابه با سالن‌های نگهداری حیوانات و مرغداری است. نرخ جریان هوای شسته شده را می‌توان از راه‌های مختلفی محاسبه کرد که ساده‌ترین آن استفاده از نرخ‌های تعویض هوای انتخابی است. معمولاً در هر $\frac{2}{3}$ تا $\frac{1}{5}$ دقیقه یا هر $\frac{2}{3}$ تا $1\frac{1}{3}$ دقیقه به یک بار تعویض هوا نیاز است. میزان هوای شسته شده مورد نیاز عبارت است از:

$$\text{تعداد دفعات تعویض هوا در دقیقه} \times \text{حجم گلخانه بر حسب فوت مکعب} = \text{cfm}$$

یا:

$$60 \div \text{تعداد دفعات تعویض هوا در دقیقه} \times \text{حجم گلخانه بر حسب متر مکعب} = \text{m}^3/\text{s}$$

در نتیجه اندازه پد را می‌توان محاسبه کرد:

$$\text{پد بر حسب فوت مربع} = \frac{\text{لازم cfm}}{250 \text{ cfm/ft}^2}$$

یا

$$\text{پد بر حسب متر مربع} = \frac{\text{لازم } \text{m}^3/\text{s}}{1.27 \text{ m}^3/\text{s/m}^2}$$

در روش‌های دقیق‌تر از شدت نور تخمینی، ارتفاع محل از سطح دریا (فرازا)، و دمای مجاز داخل که توسط هوای شسته شده حاصل می‌شود برای "محاسبه عوامل تنظیم گلخانه" استفاده می‌شود. با ضرب کردن آن‌ها در مساحت گلخانه و مقدار جریان انتخابی 8 cfm/sq ft ($0.41 \text{ m}^3/\text{s/m}^2$) نرخ جریان لازم به دست می‌آید که اغلب بر حسب فاصله بین پد و فن تنظیم می‌شود. سپس ارتفاع پد از روی طول دیوار موجود به دست می‌آید:

$$\text{ارتفاع پد بر حسب فوت} = \frac{\text{مساحت بر فوت مربع}}{\text{طول بر حسب فوت}}$$

یا

$$m_h = \frac{m^2}{m_l}$$

طول پیوسته برای دیوار ترجیح دارد. شکاف درها، پنجره‌ها و غیره، در فواصل ۶ تا ۸ برابر عرض شکاف، موجب پیشروی مساحت هوای خشک به سمت خلاف جهت باد می‌شود و در نتیجه باید از آن اجتناب کرد.

از روی نرخ جریان مورد نیاز هوای شسته شده و داده‌های مربوط به هوای شسته شده، فاصله بین فن‌ها، تعداد و اندازه فن‌ها انتخاب می‌شود. وقتی ظرفیت مورد نیاز در کاتالوگ ما بین ظرفیت تایید شده دو کولر واقع می‌شود باید فن بزرگتر انتخاب شود. از داده‌های تایید نشده باید اجتناب کرد (به شکل ۵ مراجعه کنید).



شکل ۵- فن‌های هم فاصله دیواری افقی با نام تجاری Aerovent هوای شسته شده استفاده شده را از یک گلخانه چند دهنه عریض که توسط کولرهای با پانل دیواری خنک می‌شوند خارج می‌سازند. توجه کنید که نصف دریچه‌های کرکره‌ای خودکار فن‌ها بسته هستند و توصیه می‌شود که در روزهای ابری یا خنک، سرعت نصف شود. کنترل ظرفیت متغیر از طریق توقف متناوب فن‌ها می‌تواند موجب ایجاد نواحی با سرمایه‌ش کمتر از حد لازم در قبل از آن‌ها بشود.

پدها ترجیحاً در داخل دیوارهای گلخانه جای گرفته و توسط دریچه‌های کرکره‌ای موتوردار حفاظت می‌شوند که با اعمال کنترل آن‌ها را باز و بسته می‌کند.

بالای پدها باید تقریباً مطابق با ارتفاع فوقانی گیاهانی باشد که خنک می‌شوند یا این که مرکز آن‌ها با میانه ارتفاع گیاهان باید مطابقت کند. در مورد سایر جنبه‌های پد، شامل نصب، لوله‌کشی، تحویل آب، آب دور ریز و بازده سرمایش به فصل ۱۲ مراجعه کنید.

اثرات دما

متاسفانه این سیستم‌ها، با جذب گرمای خورشیدی از نیمکت‌ها، گیاهان و کف توسط هوای شسته شده، بین پد و فن دارای افزایش دمای هوا بوده و فشار منفی داخلی و ساختار معمولاً دارای نشتی گلخانه‌ها نیز موجب نفوذ هوای گرم بیرون می‌شود.

مطالعات صورت گرفته در نیویورک در مورد گلخانه مشخص کرد که اختلاف دما در طول مسیرهای جریان به صورت قابل ملاحظه‌ای بزرگتر از حالتی است که از کولرهای آماده (پکیج) استفاده می‌شود. در آزمون‌های کالیفرنیا بین پدها و فن‌های دورتر بین ۱۲ تا ۱۴ F (۶/۷ تا ۷/۸ C) اختلاف دما مشاهده شد در حالی که در کولرهای آماده‌ای که هوای شسته شده را از طریق لوله‌های همرفت توزیع کرده و توسط اگزوز فن به بیرون تخلیه می‌کنند، این افزایش دما ۲ F (۱/۱ C) است.

این امر پیشنهاد می‌کند که جداسازی گیاهان بر طبق دماهای بهینه می‌تواند برای بزرگترین گلخانه-های پد و فن مفید بوده و همچنین لوله‌های همرفت، همچون در هنگام سرمایش فضای ساختمان‌های صنعتی، در کشاورزی نیز موثر هستند. سیستم‌های کانال ارزان تری وجود ندارد.

با دریافت دما توسط هوای شسته شده، این هوا تمایل دارد که بر فراز گیاهان صعود کرده که گاه تا زاویه رو به بالای ۷ درجه می‌رسد. در گلخانه‌های کوچک می‌توان فن را در ارتفاع پایین نصب کرد تا با این اثر مقابله کند. در بسیاری از گلخانه‌های طویل، دیوارک‌های (صفحات) پلاستیکی در عرض کل گلخانه، در زیر سقف قرار می‌گیرند که لبه افقی پایینی آن بر فراز گیاهان آویزان است. این تیغه‌ها تا ۳۰ ft (۹/۱ m) از هم فاصله داشته و جریان هوا را در ارتفاع گیاه حفظ می‌کنند و همچنین مانع از اختلاط با هوای گرم زیر سقف می‌شوند. در صورت استفاده از اگزوز فن‌های سقفی، از دیوارک‌های مشابه، در ۳ تا ۵ فوتی (۰/۹ تا ۱/۵ متری) پایین دست جریان استفاده می‌شود، تا جریان نهایی رو به پایین باشد. اغلب این دیوارک‌ها نازک و شفاف هستند تا حداقل اثر را در مسدود کردن نور خورشید داشته و به راحتی در اطراف لوله‌های همرفت نصب شوند یا در زمستان می‌توان آن‌ها را جمع کرد (به شکل ۶ این فصل مراجعه کنید).

در گلخانه‌های چند دهنه با جریان عرضی، گودی‌های سقف در بین دهنه‌ها موجب تغییر جهت جریان‌های صعودی به سمت پایین می‌شوند. در هر دو نوع گلخانه، به منظور جلوگیری از خروج هوای

شسته شده به زیر نیمکت، دیوارک‌های عمودی که از کف به اندازه دو سوم ارتفاع نیمکت هستند می‌توانند موجب افزایش جریان مفید شوند.

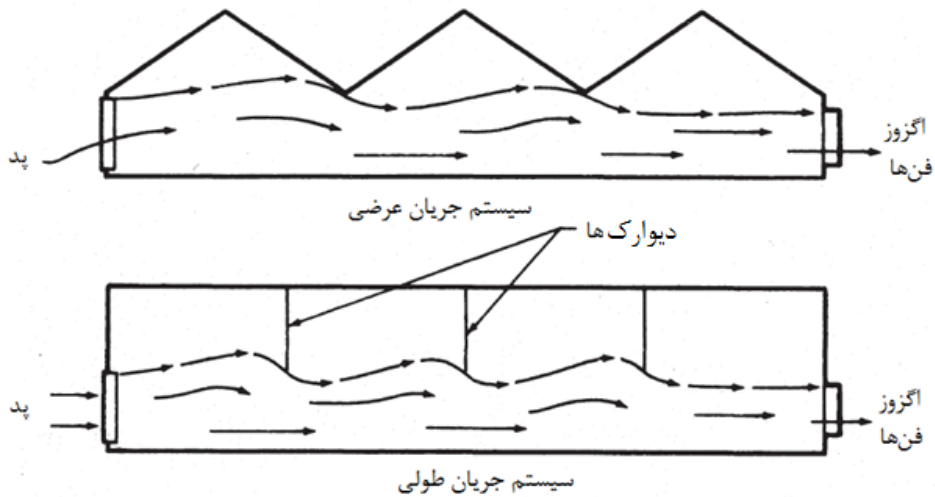
جریان‌های متقابل هوای شسته شده در تراز گیاه، از دیدگاه تئوری باعث می‌شوند تا حجم هوای کمتری استفاده شده تا موجب صرفه جویی در هزینه‌های پد و فن شود. البته این امر معمولاً موجب افزایش دما شده و تنها در هنگامی که فاصله پد و فن کوتاه است کاربرد دارد.

گرمایش و هوارسانی

گرمایش گلخانه مقوله‌ای متفاوت از سرمایش بوده و شکل‌های متفاوتی دارد که شامل لوله‌های همرفت بالاسری است. آن‌ها معمولاً گرمای کافی داشته ولی ممکن است در زمستان برخی گیاهان سمت دیوار از سرما رنج ببرند. بنابراین اغلب در زیر نیمکت‌ها، لوله‌های همرفت گرمایشی کوچک نصب می‌شود تا پیرامون خود را گرم کنند. در غیر این صورت، این نوع گرمایش تنها اندکی با کشیدن روکش فرق می‌کند.

در بسیاری از روزها و شب‌ها، تهویه (هوارسانی) صرف می‌تواند اغلب گلخانه را خنک کند. در تابستان - های معتدل، به خصوص در صورتی که آب و هوا مه‌آلود باشد، جریان هوا از پد خشک به میزان cfm ۸ به ازای هر فوت مربع مساحت ($0.41 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$) رایج است. در فصول دیگر به هوای کمتری، معمولاً در حد ۱/۵ تا ۲ cfm به ازای هر فوت مربع مساحت (0.08 تا $0.2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$) نیاز است. بهتر است این مقادیر کم توسط لوله‌های همرفت مورد استفاده برای گرمایش توزیع شوند.

در آب و هوای سردتر، این لوله‌ها هوای تازه بیرون را با حجم بیشتری از هوای فوقانی اتاق مخلوط می‌کنند در نتیجه کوران هوای سرد، تنها به معدودی از گیاهان می‌رسد. به علاوه، وقتی پد خشک و تهویه فن اجازه می‌دهد تا دما در مسیر جریان هوا افزایش یابد، لوله‌های همرفت به میزان یکسانی هوای تازه را به تمام نقاط تحویل داده و موجب حداقل شدن اختلافات می‌شود.



شکل ۶- کنترل صعود هوای شسته شده با جذب گرمای گلخانه. در اغلب ساختمان‌های با جریان عرضی، حفره‌های سقفی این امر را به صورت مناسب در مورد گیاهان بلند انجام می‌دهند. البته، در حالت جریان طولی، ورق‌های پلاستیک یا سایر دیوارک‌هایی که در زیر سقف قرار دارند جریان را در ارتفاع گیاه حفظ می‌کنند. برای تمرکز جریان کلی، از دیوارک‌های زیر نیمکت نیز می‌توان استفاده کرد.

در اقلیم‌های معتدل که به گرمایش نیاز نبوده یا در زیر نیمکت‌های دیواری انجام می‌شود، می‌توان بدون استفاده از فن‌های لوله‌ای از لوله‌های همرفت استفاده کرد. آن‌ها با استفاده از اگزوز فن‌ها در دور آرام یا در فواصل انتخابی، اجازه ورود هوای بیرون را می‌دهند. سیستم‌های با دو فن یا کمتر باید به منظور تنظیم منعطف جریان، حداقل یک فن دو سرعت داشته باشند. سایر سیستم‌ها می‌توانند متناوباً متوقف شده یا بر حسب فن انتخابی ظرفیت را کنترل کنند.

کنترل‌ها

ترموستات‌ها و هیومیدیستات‌ها (وسایل کنترل رطوبت) کل کارکرد سرمایش-تهویه-گرمایش را کنترل می‌کنند. ترتیب مراحل به عنوان نمونه عبارتند از:

۱. حداقل گرمایش: لوله‌های همرفت دیواری.
۲. حداکثر گرمایش: لوله‌های همرفت دیواری و بالاسری.
۳. گردش هوا: تمام لوله‌های همرفت. حداقل تهویه (هوارسانی) برای آوردن CO_2 و تخلیه O_2 ، رطوبت اضافی و غیره.
۴. حداقل سرمایش به طریق تهویه: تمام لوله‌های همرفت و ظرفیت پایین فن.

۵. سرمایش متوسط به طریق تهویه: لوله‌های همرفت بالاسری، پدهای و ظرفیت متوسط فن.
۶. حداکثر سرمایش به طریق تهویه: پدهای خشک و ظرفیت کامل فن.
۷. سرمایش تبخیری: پدهای خیس و ظرفیت کامل فن.

این ترتیب کنترل، در هر جهت با افزایش یا کاهش دمای داخل به صورت خودکار صورت می‌گیرد. تفاضلات بین مراحل (گام‌ها) می‌تواند بین یک تا 15 F ($0/56$ تا $8/3\text{ C}$) تغییر کرده و برای گرمایش، سرمایش و شب دارای برنامه مجزایی بوده که در مورد آخر برای حفظ دمای ایده‌آل در تاریکی، فعال‌سازی توسط فتوسل انجام می‌شود (به شکل ۷ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۷- یک نمونه دستگاه کنترل گرمایش-سرمایش گلخانه با نام تجاری Acme. این وسیله دارای دو سطح گرمایش روز و شب و چهار سطح سرمایش با مراحل و گام‌های تفاضلی قابل تنظیم است. این دستگاه‌ها به صورت خودکار آگزوز فن‌های چند سرعتی، لوله‌های همرفت و یونیت هیترها، دریچه‌های کرکره‌ای موتوردار و پمپ‌های سرمایش تبخیری را بر طبق نیاز داخلی و بر اساس تغییرات آب و هوا به کار می‌اندازند.

حسگرهای راه دور (ریموت) به کنترل کننده‌های واقع در دفاتر یا نقاط دیگر اجازه می‌دهند تا پایش و حفاظت به سادگی صورت گیرد. چراغ‌های نشانگر مراحل کار و این که آیا تنظیمات اشتباه است را نشان می‌دهند.

کنترل کننده‌های ساده‌تری که در گلخانه‌ها نصب می‌شوند از برخی مراحل گرمایش و تهویه و تنظیمات شبانه صرف نظر کرده ولی در بقیه موارد به صورت مشابه عمل می‌کنند. هر دو نوع به آگزوز فن‌های چند سرعتی یا چندگانه، لوله‌های همرفت مجهز به فن و دریچه‌های کرکره‌ای هوا موتوردار برای پد و لوله‌ها بستگی دارند.

ذخیره و فرآوری غذا

حفظ مواد غذایی، مشابه تولید است. حتی پس از برداشت و حمل، میوه‌ها و سبزیجات، موجودات زنده‌ای با فرآیندهای حیاتی عادی محسوب شده که اکسیژن جذب کرده و CO_2 و گرمای سوخت و ساز را پس می‌دهند. ولی هنگامی که آن‌ها از گیاهان مادر جدا می‌شوند، لزوماً انرژی را از درون خود جذب کرده، در نتیجه اکسیداسیون داخلی تسریع شده و از بین می‌روند.

بنابراین حفظ آن‌ها مستلزم کند سازی این فرآیندها از طریق کاهش دما است. اغلب میوه‌ها و سبزیجات در دمای $F 70 (C 21/1)$ ظرف یک روز و در دمای $F 45 (C 7/2)$ ظرف ۱۰ روز یا در صورت انجماد طی ۱۶ روز از بین می‌روند.

هر چه گرمای محصول^۱ پس از برداشت سریع‌تر دفع شود بهتر بوده و در نتیجه لازم است پیش سرمایش صورت گیرد. فرو بردن در آب خنک سریع‌ترین است ولی به برخی محصولات آسیب می‌زند. بنابراین سرمایش با هوا رایج بوده و بهترین و سریع‌ترین سیستم‌ها از هوایی استفاده می‌کنند که توسط فن به جریان در آمده و با عبور از درون محفظه‌های نگهداری محتویات آن‌ها را خنک می‌کنند.

در پیش سرمایش سبزیجات، $45 \text{ Btu/lb} (105 \text{ J/kg})$ دفع می‌شود که معرف کمتر از ۰/۵ درصد هزینه انرژی کل برای تولید و بازاریابی است، در نتیجه صرفه‌جویی در تنها یک درصد از ماده غذایی، حتی با هزینه برق سیستم‌های برودتی نیز مقرون به صرفه است.

البته برای جلوگیری از افت وزن، در انبارسازی لازم است که رطوبت نسبی هوا بین ۸۵ تا ۹۹ درصد بوده که بیشتر برای سبزیجات لازم است. در اینجا، سیستم‌های برودتی مناسب که گران قیمت‌تر هستند برای ذخیره‌سازی طولانی مدت بهتر از پیش سرمایش فصلی عمل می‌کنند. بنابراین به نظر می‌رسد که سرمایش تبخیری مستقیم، در بسیاری مواقع، برای دفع گرمای محصول مناسب‌تر بوده و

هزینه اولیه و برق کمتری داشته، جریان هوا و رطوبت آن کافی بوده و دماهای پایین قابل قبولی را ایجاد می‌کند. استفاده از سرمایه‌ش تبخیری مرحله‌ای (به فصول ۲۲-۲۰ مراجعه کنید). با هزینه اندکی دمای هوای شسته شده را کاهش می‌دهد.

اساسی‌ترین تجهیزات پیش سرمایه‌ش می‌توانند به منظور سهولت در حمل و نقل و اتصال با انبارها در طی فصل برداشت بر روی کامیون یا تریلر نصب شوند. البته برای انبارهای نهایی و تحویل بهتر است از سیستم‌های برودتی استفاده شود.

سیب زمینی

سیب‌زمینی بزرگترین غذای انباری است که اغلب در انتظار قیمت مناسب برای ۶ تا ۸ ماه ذخیره می‌شود. در آغاز، هوای خنکی که اطراف سیب‌زمینی‌ها گردش می‌کند گرمای محصول را دفع کرده و آن را به سمت بهترین دمای انبارسازی ۳۵ F تا ۴۰ F (۱/۷ تا ۴/۴ C) می‌رساند. در فصل برداشت که اغلب هوا گرم و خشک است، برای انبار هوای شسته شده توصیه می‌شود.

در انبارسازی اولیه، برای انواع زدگی که در اثر برداشت ایجاد شده، لایه هوای خنک یک لایه محافظ را در برابر پوسیدگی ایجاد می‌کند. برای جلوگیری از چروک و افت وزن، رطوبت نسبی حداقل ۸۵ درصد مطلوب است. به ویژه در زمستان به گردش هوا نیاز بوده تا دما و رطوبت انبار یکنواخت بوده و اکسیژن را وارد ساخته و گازهای خارج شده از سیب‌زمینی را دفع کرده و از انجماد احتمالی جلوگیری کند. برای انبارسازی در مدت متوسط، مثلاً ۱۰۰ روز یا کمتر، در اغلب اقلیم‌ها، سرمایه‌ش تبخیری مناسب‌تر و ارزان‌تر است (به شکل ۸ این فصل مراجعه کنید).

در انبارسازی طولانی‌تر، خطر جوانه زدن سیب‌زمینی وجود دارد. هر چه سیب‌زمینی خنک‌تر نگه داشته شود جوانه‌زنی بیشتر به تعویق می‌افتد.

زمان جوانه‌زنی سیب‌زمینی

تعداد روز سپری شده قبل از جوانه‌زنی سیب‌زمینی	دمای انبار C	دمای انبار F
۷۰	۱۲/۱۵-۸/۶	۶۰-۵۵
۸۹	۱۲-۱۰/۸	۵۵-۵۰
۱۲۶	۷/۱۰-۲	۵۰-۴۵
۲۰۰	۴/۷-۴/۲	۴۵-۴۰

همان گونه که مشاهده می‌شود در بهترین انبارهای کوتاه یا متوسط مدت، از تاسیسات کولرهای تبخیری استفاده شده تا از طریق دمپرهای خودکار، هوای بیرون یا هوای انبار را دریافت کرده تا موجودی را کنترل کند. در نتیجه در آب و هوای زمستانی فن‌ها صرفاً هوا را گردش می‌دهند. هوای خروجی کولرها به سمت کف و بر فراز توده سیب‌زمینی هدایت شده تا با سیب‌زمینی‌های بیشتری در تماس باشد. کولرهای آبی معمولی قادر هستند تا هوای شسته شده را به راحتی به توده‌های تا ارتفاع ۱۰ فوت برسانند.

رطوبت بالا مشکلی را در بر نداشته و انبارهای سیب زمینی که به صورت تبخیری خنک می‌شوند، در نقاطی مثل نیوجرسی، نیویورک، پنسیلوانیا تا آیداهو و یوتا قابل کاربرد هستند. در مورد انبارسازی سیب و بسیاری محصولات دیگر نیز اصول مشابهی برقرار است (به شکل ۹ مراجعه کنید).

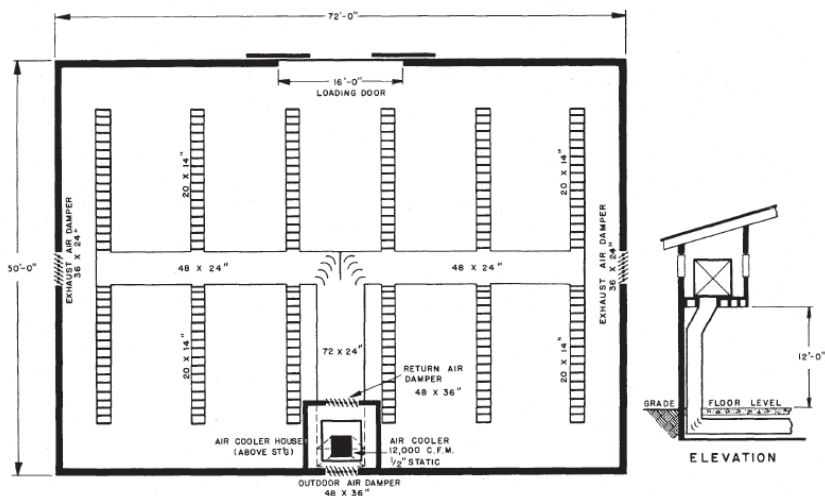
مرکبات

اغلب پرتقال‌ها، گریپ فروت و لیموها برای مدت کوتاهی در انبارهایی که به طریق تبخیری خنک می‌شوند نگهداری شده تا میوه‌های چیده شده درون جعبه‌ها، در طی رطوبت نسبی ۹۰ درصد از دمای احتمالی ۱۰۰ F (۳۷/۸ C) تا ۷۰ F الی ۸۵ F (۲۱/۱ C الی ۲۹/۴ C) خنک شوند.

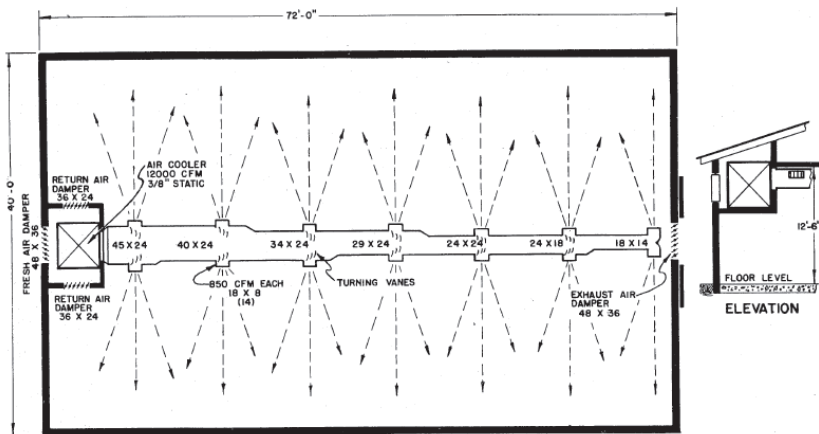
شرایط اخیر به مدت طولانی حفظ می‌شود تا رنگ سبز پوست بسیاری از میوه‌ها به رنگ آشنای مرکبات رسیده شده تبدیل شود. این فرآیند تغییر رنگ، که "شیرین شدن" نامیده می‌شود ضروری است، زیرا پوست بسیاری از گونه‌های مرکبات، مثل پرتقال والنسیا، قبل از محتویات خود می‌رسد و امکان دارد که مشتری آن را پس بدهد.

تغییر طبیعی رنگ آهسته بوده و برای تسریع آن گاز اتیلن در داخل هوای مرطوب گردش می‌کند تا کلروفیل درون پوست را از بین ببرد. این روند تغییر رنگ تسریع شده، بین ۷۲ تا ۹۶ ساعت طول کشیده و به دنبال آن تهویه شده و سرمایش ادامه می‌یابد.

انبارسازی تا یک ماه می‌تواند با استفاده از سرمایش تبخیری صورت گیرد. برای نگهداری طولانی‌تر، به سرمایش تبخیری مرحله‌ای یا سرمایش برودتی نیاز است. سپس میوه‌ها دانه‌بندی و برای حمل بسته بندی می‌شود.



شکل ۸- نمای کف یک انبار سیب‌زمینی به ظرفیت ۲۵,۰۰۰ بوشل (هر بوشل ۸ گالن یا در حدود ۳۶/۴ لیتر است - مترجم). در این انبار از انواع کولرهای دمنده‌دار با تخلیه فروباد استفاده شده و هوای شسته شده بر فراز شبکه‌های واقع بر کف تحویل می‌شود که توده سیب‌زمینی تا ارتفاع ۱۰ ft (۳/۳ m) روی آن قرار دارد. جریان در حدود ۰/۵ cfm/min (۱۴) به ازای هر بوشل موجب دفع گرمای محصول و متابولیک شده و بدون کاهش آب قابل ملاحظه و افت وزن اکسیژن دهی می‌شود. در زمستان، باز و بستن دریچه‌های کرکره‌ای خودکار اطراف کولر موجب گردش هوای داخل، بدون نیاز به سرمایه‌ش، می‌شود.



شکل ۹- نمای کف یک انبار موقت سیب که نشانگر کولرهای مستقیم محصور شده، کانال‌های توزیع بالاسری با دهانه‌های خروجی، با ظرفیت ۲۵,۰۰۰ بوشل است. دمپرهای موتوردار برگشت هوا، برای گردش هوای داخل در هنگام عدم نیاز به سرمایه‌ش است. سیب‌ها می‌توانند درون جعبه‌های استاندارد هواکش‌داری قرار بگیرند که برای ایجاد جریان هوا به صورت غیر فشرده روی هم قرار دارند.

یک نمونه واحد رنگ‌دهی و نگهداری می‌تواند از ۱۰ "اتاق شیرین‌سازی" تشکیل شود. ۱۰ کولر تبخیری مستقیم که اغلب دارای طراحی خاص هستند در بالای سر نصب می‌شوند. دمپرها اجازه می‌دهند تا هوای تازه بیرون یا هوای گردشی داخل مورد استفاده قرار گیرد. جعبه‌های میوه روی هم چیده شده در فواصلی از هم قرار می‌گیرند تا هوا و گاز بتواند گردش کند.

سایر محصولات

قیمت پایین تجهیزات سرمایش تبخیری مستقیم و هزینه پایین کارکرد آن موجب استفاده موقت از آن به جای سرمایش برودتی می‌شود. در نتیجه در ضمن افزایش روحیه و بهره‌وری کارگران بسته‌بندی و همچنین افزایش دقت بازرسی و کیفیت کار، تمام محصول را می‌توان با هزینه ارزان، از طریق پیش سرمایش سریع، با افزون‌سازی "عمر انبار" و قابلیت خورده شدن برای روزهای بیشتری پس از برداشت نگهداری کرد. در عین حال هوای متلاطم باید مگس، پشه، زنبورهای عسل و زنبورهای زردی را که جذب این مکان می‌شوند را دفع کند.

پرسش‌های دوره‌ای

۱. پنج عامل کلیدی در گیاهان بالاتر از محیط زمین را نام ببرید. تضادی که بر روی نرخ رشد حاکم است را شرح دهید. گلخانه چگونه در زمستان بر روی این تضاد تاثیر می‌گذارد؟ در تابستان چگونه؟ چرا به هوای تازه متحرک نیاز است؟
۲. در مورد گوجه فرنگی، اهمیت شب‌های خنکی که به دنبال دمای روزانه معتدل است را شرح دهید. با سرمایش تبخیری چه خروجی از گلخانه امکان‌پذیر است؟ سرمایش تبخیری چه تاثیری بر احتیاجات آبیاری گیاه دارد؟ چگونه می‌توان از آب شور استفاده کرد؟
۳. پنج گیاه خوراکی که در صورت افزایش دمای داخل گلخانه از ۷۵ F (۲۳/۹ C) دچار ناراحتی می‌شوند را نام ببرید. چهار گیاه خوراکی که در صورت افزایش دمای داخل گلخانه به بالای ۹۰ تا ۹۵ F (۳۲/۲ تا ۳۵ C) به زحمت می‌افتند را نام ببرید. برای حفظ بهره‌دهی گلخانه‌ها در آب و هوای گرم روزانه، معمولاً به چه میزان تعویض هوای شسته شده در هر ساعت نیاز است؟ چه رطوبتی رایج است؟
۴. در گلخانه‌های پرورش گل، سرمایش تبخیری چه تاثیری بر روی گل‌های میخک صد پر، میمون و داوودی و شیپوری دارد؟ نقش سرمایش برودتی چیست؟ چرا؟
۵. در گلخانه‌های کوچک، کولرهای آماده (پکیج) آبی و مشابه می‌توانند بدون آسیب به گیاهان در اثر سرعت بالای هوای شسته شده کار کنند؟ در چه موقعی به صورت طولی می‌دمند؟

- در چه موقعی به صورت عرضی می‌دمند؟ در حالت اول چگونه می‌توان تغییرات دما را تقریباً حذف کرد؟
۶. در یک گلخانه طویل دارای کولرهای آماده‌ای که هوا را به صورت عرضی در یک سمت می‌دمند، تعداد و فاصله کولرها برای یک بار تعویض هوا در دقیقه را محاسبه کنید. ظرفیت تایید شده هر کولر $11,000 \text{ cfm}$ ($5/2 \text{ m}^3/\text{s}$) و ابعاد ساختمان 200 در 40 فوت (61 در $12/2$ متر) با ارتفاع متوسط 13 فوت (4 متر) است. برای کسب بهترین توزیع هوا در اطراف گیاه، هواکش‌های خروجی بارومتریک خودکار در چه مکانی می‌توانند نصب شوند؟
۷. لوله‌های همرفت در مقایسه با کولرهای آماده از چه مزایای برای توزیع هوای شسته شده برخوردار هستند؟ چرا پانل‌های با ماده واسط صلب در گلخانه‌ها، بسیار بزرگتر از مرغداری‌ها یا سالن‌های نگهداری حیوانات هستند؟ اندازه آن‌ها اغلب چقدر است؟ در گلخانه‌های طویل، آگزوز فن آن‌ها معمولاً در کجا نصب می‌شود؟
۸. برای تامین یک بار تعویض هوا در دقیقه در گلخانه‌ای به حجم داخلی $86,000$ فوت مکعب (2435 متر مکعب) به چند فوت مربع (متر مربع) پانل با ماده واسط صلب نیاز است؟ سرعت در وجه پانل را 250 fpm ($76/2 \text{ m}/\text{min}$) در نظر بگیرید. برای تعویض هوا در هر 75 ثانیه چقدر است؟
۹. اگر گلخانه فوق 110 در 60 فوت ($33/5$ در $18/3$ متر) باشد، ارتفاع خالص پد لازم برای پانلی با یک بار تعویض هوا در دقیقه که در سراسر یک دیوار سمت باد قرار دارد چقدر است؟ بر روی سراسر یک دیوار کوتاه چقدر است؟ چرا نباید توسط در یا پنجره در پانل انقطاعی ایجاد شود؟
۱۰. اگر سطح مقطع عرضی ساختمان فوق 782 فوت مربع ($72/6$ متر مربع) بوده و آگزوز فن - هایی با ظرفیت $12,000 \text{ cfm}$ ($72/6 \text{ m}^3/\text{s}$) در سمت مخالف پانل دیواری قرار گیرد، تعداد و فاصله آن‌ها را برای یک بار تعویض هوا در دقیقه حساب کنید.
۱۱. دیوارک‌هایی که در طی جریان طولی در گلخانه‌های بزرگ، جریان‌های هوای شسته شده را بر روی گیاهان هدایت می‌کنند را شرح دهید. چرا در ساختمان‌های چند دهنه، وقتی که جریان عرضی است، از آن‌ها کمتر استفاده می‌شود؟ چرا در مقایسه با سالن‌های نگهداری حیوانات، هوای شسته شده در گلخانه‌ها بیشتر صعود می‌کند؟
۱۲. چگونه حجم‌های کوچک هوای تهویه احتمالاً بهتر تحویل داده می‌شوند؟ به منظور توزیع یکنواخت هوای تازه و دما، این روش را با تهویه با پد خشک مقایسه کنید.
۱۳. چرا سرعت جریان هوای داخلی متناسب با فاصله بین پد و فن افزایش می‌یابد؟ حداکثر فاصله مجاز چیست؟ گلخانه‌های درازتر چگونه خنک می‌شوند؟

۱۴. شرح دهید که چگونه گرمایش، تهویه(هوارسانی) و سرمایش به منظور حفظ دما در محدوده(یا نزدیک) به محدوده‌های بهره‌دهی مرحله‌بندی می‌شود.
۱۵. چگونه دمای هوای شسته شده به صورت مفید، موجب افزایش عمر میوه‌ها و سبزیجات می‌شود؟ حدوداً چقدر گرما معمولاً باید دفع شود؟ این گرما چگونه از طریق هوای شسته شده به سرعت دفع می‌شود؟
۱۶. چگونه از افت وزن می‌توان جلوگیری کرد؟ چگونه نمی‌توان با روش برودتی به صورت اقتصادی پیش سرمایش انجام داد؟ چرا برای انبارسازی طولانی مدت مناسب است؟ چه چیزی پیش سرمایش لازم را ایجاد می‌کند؟
۱۷. چه محصول تازه‌ای احتمالاً در فاصله بین برداشت و فروش بیشتر سالم می‌ماند؟ در طی سرمایش تبخیری مستقیم، محصول تا چه میزانی می‌تواند نگهداری شود؟ چگونه می‌توان سرمایش تبخیری را بهبود بخشید تا عمر محصول طولانی‌تر شود؟ عنصر بحرانی چیست؟
۱۸. تبدیل رنگ مرکبات از رنگ سبز را شرح دهید. چقدر طول می‌کشد؟ آیا دماهای برودت موجب کند یا تند شدن این فرآیند می‌شود؟ آیا وزن میوه کاهش می‌یابد؟ تا چه مدت می‌توان مرکبات را در طی سرمایش تبخیری نگهداری کرد؟

فصل ۱۷

تعیین ظرفیت و اندازه کولر مستقیم

سرمایش تبخیری مستقیم در منظر عمومی ناچیز شمرده می‌شود، زیرا کولرها بیشتر برای تهویه (هوارسانی) نه برای سرمایش ارزیابی (تعیین ظرفیت)^۱ می‌شوند. آن‌ها هوارسان‌های عالی هستند، اما اکثر خریداران مشتری سرمایش هستند. تجهیزات سرمایشی که بدون بهره‌گیری از امتیازات ظرفیت سرمایشی ارائه می‌شوند، اعتماد عمومی چندان را جلب نمی‌کنند.

تلاش صنعت برای ارزیابی محصولات خود به صورت جداگانه بر حسب میزان تحویل جریان هوا و ضریب تأثیر اشباع است که ارزیابی ظرفیت سرمایشی را تنها برای مهندسان و اشخاص محاسب ارائه می‌کند. سایر کاربران تنها بر اساس باور خود خرید کرده و اغلب ناامید می‌شوند.

اکثر تجهیزات بزرگ دارای ظرفیت هوای شسته شده و بازده اشباع ثابت و قابل پیش بینی هستند و از این رو تقریباً تمام دستگاه‌های هواساز، کولرهای با ماده واسط صلب، کولرهای با پد دوار، کولرهای کارخانجات نساجی و سیستم‌های خنک‌کننده صنعتی را می‌توان با دقت طراحی کرد. این موضوع در مورد بسیاری از تاسیسات کولر آبی-پرتابی و با پد افشانه‌ای نیز صدق می‌کند. ظرفیت‌های سرمایشی محاسبه شده قابل اعتماد هستند.

البته، بازده‌های خروجی و سرمایه‌های هوای شسته شده که برای ارزیابی کولرهای کوچک اعلام می‌شود به نظر قابل استناد و ثابت نیستند. این مقادیر اغلب بر مبنای ارزیابی فن یا دمنده خالی هستند و پد، کرکره، و مقاومت‌های مربوط را در نظر نمی‌گیرند.

به طور مشابه ارزیابی فرض می‌کند که پدها تازه و با نصب کارخانه‌ای بوده، در حالی که بسیاری از پدهای پوشالی در ظرف چند هفته به نیمه عمر خود می‌رسند. محاسبه ظرفیت‌های سرمایه‌های از روی این داده‌ها، موجب خطاها و خطرات جدی هم از نظر مالی و هم میزان انتظارات از دستگاه می‌شود. سازندگان می‌توانند بسیاری از این عدم قطعیت‌ها را چاره کنند. همان طور که در زیر تشریح می‌شود، تقریباً تمام داده‌های مورد نیاز سرمایه‌های قابل تعیین بوده و باید به صورت کاتالوگ برای راهنمایی کاربران مبتدی و معمولی منتشر شود.

اندازه‌گیری عملکرد

ارزیابی (تعیین ظرفیت) سرمایه‌های برای سرمایه‌های تبخیری مستقیم، در مقایسه با سیستم تهویه مطبوع برودتی قابل مقایسه نیست، زیرا در واقع این فرآیند هیچ حرارتی را از هوای خنک شده دریافت نمی‌کند. این فرآیند تبدیل، و نه دفع حرارت بوده و اندازه‌گیری سریع آن غیرممکن است.

واضح است که برای نمایش میزان تحویل هوا و کاهش دما به یک معیار عملکردی جدید نیاز است. لذا در اینجا سیستم ارزیابی زیر، شامل یکاها و واژه‌های جدید طرح و پیشنهاد می‌شود.

به طور طبیعی، به دلیل اینکه کولرهای تبخیری مستقیم، گرمای محسوس را به گرمای نهان تبدیل می‌کنند، بهتر است عملکرد آنها بر مبنای مقدار خالص گرمای محسوس تبدیل شده در هر ساعت اندازه‌گیری شود. این امر به صورت منطقی با اندازه‌گیری Btuh یا kJ/hr گرمای محسوس تبدیل شده توسط دستگاه‌های مرطوب‌کننده و سپس تفریق مقدار Btuh یا kJ/hr گرمای محسوس دریافتی از فن‌ها، موتورهای فن، پمپ‌های گردش‌دهنده و سایر منابع، از جمله گرمای خورشیدی انجام می‌شود.

یکاهای پیشنهادی برای ارزیابی کولر تبخیری

در بهترین معیار برای خروجی کولر، سه واژه جدید پیشنهاد می‌شوند: **گرمای محسوس تبدیل شده در ساعت^۱**، **گرمای محسوس دریافت شده در ساعت^۲**، و اختلاف آن‌ها که **سرمایش محسوس**

1- Converted sensible heat/hr

2- Regained sensible heat/hr

خالص در ساعت^۱ جهت تعیین ظرفیت سرمایش واقعی کولر برای سرمایش محسوس هوای بیرون است. این مقدار با ظرفیت سرمایش اتاق یا فضاهای ساختمانی معادل نیست.

این سه واژه به شرح زیراسم گذاری می شوند:

۱. گرمای محسوس تبدیل شده در ساعت = Converted Btuh یا Converted kJ/hr

۲. گرمای محسوس دریافت شده در ساعت = Regain Btuh یا Regain kJ/hr

۳. سرمایش محسوس خالص در ساعت = Net Cooling Btuh یا Net Cooling kJ/hr

روابط کلیدی عبارتند از:

الف. $\text{Converted Btuh} - \text{Regain Btuh} = \text{Net Cooling Btuh}$ یا

ب. $\text{Converted kJ/hr} - \text{Regain kJ/hr} = \text{Net Cooling kJ/hr}$

۵- $1 \text{ Btuh} = 1055/06 \text{ J}$ یا $1/0551 \text{ kJ}$

Converted kJ/hr یا Converted Btuh نشان دهنده کاهش گرمای محسوس هوای بیرونی است که از طریق پد اشباع یا سایر دستگاه‌های مرطوب کننده می گذرد. آن‌ها این میزان گرمای محسوس را به گرمای نهانی تبدیل می کنند که در رطوبت موجود در هوایی حمل می شود که اینک هوای شسته شده نامیده می شود (به فصل ۳ مراجعه کنید). مقدار گرمای محسوس تبدیل شده به راحتی تعیین می شود.

عملکرد سرمایش از طریق توزین

گرمای محسوس تبدیل شده به راحتی از روی وزن آب تبخیر شده، به صورت زیر، محاسبه می شود:

$$\frac{\text{پوند آب تبخیر شده}}{\text{طول آزمون بر حسب ساعت}} \times 1050 = \text{Converted Btuh. الف}$$

که در آن ۱۰۵۰ گرمای نهان تبخیر آب در $F 75 (C 23/9)$ و فشار اتمسفر است.

$$\frac{\text{کیلوگرم آب تبخیر شده}}{\text{طول آزمون بر حسب ساعت}} \times 4.187 = \text{Converted kJ/hr. ب}$$

بنابراین صرفاً با توزین آب مصرفی، توان سرمایش محسوس ناخالص کولرهای تبخیری مستقیم را می توان به سرعت و با دقت بسیار تعیین کرد. این کار به مراتب ساده تر و مستقیم تر از اندازه گیری

خروجی‌های حجمی و نتایج سایکرومتریکی همزمان آن و انجام محاسبات است. اندازه‌گیری دقیق جریان هوای شسته شده نه تنها دشوار است، بلکه مکان‌های دماسنج در جریان هوای خروجی کولر نیز می‌تواند خطاهای قابل توجهی ایجاد کند.

به ویژه، اکثر کولرهای با پمپ‌های گردش‌دهنده به راحتی می‌توانند، در حالی که تشت آب آن‌ها کاملاً پر از آب است، پدهای آن خیس است و تمام مجاری تخلیه آب آن بسته است، در هوای آزاد بر روی ترازوهای باسکولی^۱ قرار گرفته و سپس برای ۲۰ یا ۳۰ دقیقه، یا تا زمانی که پمپ‌های آن‌ها هوا بکشند، کار کنند. در این حالت کاهش وزن بهترین معیار برای Converted Btuh یا Converted kJ/hr است. حتی کارکرد برای ۱۵ دقیقه نیز بیش از آزمون‌های معمول دقت دارد.

در طی این آزمایشات هیچ آب جبرانی جدیدی وارد کولرها نشده، و در نتیجه بر خلاف شرایطی که در عمل رخ می‌دهد هیچ گرمای محسوس جدیدی وارد نمی‌شود. اگر آزمایشات با تشتی پر از آب تغذیه سرد نشده شروع شود این امر خطایی را ایجاد نمی‌کند. بنابراین لازم نیست کولرهای آزمون واقع بر روی ترازو، قبل از آزمونی که منجر به سرمایش قابل ملاحظه آب تشت می‌شود، برای مدت زمان کافی کار کنند.

کولرهای بدون پمپ‌های گردش‌دهنده، یا آن‌هایی که برای توزین بیش از اندازه بزرگ هستند، می‌توانند برای آزمون آب را از مخازن وزن شده دریافت کنند. کولرهایی که با استفاده از آب غیرگردشی کار می‌کنند را می‌توان به طور مشابه با توزین آب تخلیه شده وزن و کسر آن مورد آزمون قرار داد.

گرمای محسوس دریافت شده

متأسفانه پس از اینکه دستگاه‌های اشباع مقدار فوق‌الذکر گرمای محسوس را به گرمای نهان تبدیل می‌کنند، گرمای محسوس دیگری به هوای خنک وارد می‌شود، که شامل موارد زیر است:

- الف- گرمای الکتریکی و اصطکاکی موتورهای فن، پمپ‌ها، پولی(قرقره)ها، تسمه‌ها و یاتاقان‌ها.
- ب- گرمای اصطکاکی از تیغه‌های فن گذرنده از میان هوا و هوایی که از پوسته فن عبور می‌کند.
- پ- گرمای اصطکاکی ناشی از هوای عبوری از طریق کانال‌ها و دریچه‌های خروجی و از طریق تلاطم هوای گردشی که پس از آن رخ می‌دهد

خوشبختانه مجموع این سه مورد به برابر با توان کل مصرف‌شده توسط موتورهای فن و پمپ است، که تمام انرژی آن، لزوماً به عنوان گرمای محسوس وارد جریان هوا می‌شود. به طور طبیعی این امر شامل انرژی جنبشی است که توسط فن به هوا منتقل شده و تقریباً همه آن پس از خروج از کولرها، یا در کانال‌ها یا در اثر ایجاد آشفستگی هوا در اتاق‌ها، به گرمای اصطکاکی تبدیل می‌شوند. تنها انرژی جنبشی که گرمای دریافتی محسوسی را ایجاد نمی‌کند، بخش کوچکی است که به همراه هوای شسته شده به بیرون تخلیه می‌شود.

کسورات گرمای مختلف دریافتی محسوس به صورت زیر محاسبه می‌شود:

الف- برای هر اسب بخار داده شده (با فرض بازده ۷۰ درصدی موتور)، $۶۰/۵ \text{ Btu/h}$ یا ۳۶۳۱ Btu/h یا $۱/۰۶۴ \text{ J/s}$ یا $۳/۸۳۰ \text{ kJ/hr}$; کسر شود.

ب- برای هر کیلووات-ساعت توان مصرفی $۵۶/۹ \text{ Btu/h}$ یا ۳۴۱۳ Btu/h یا $۱/۰ \text{ J/s}$ یا $۳/۶۰ \text{ kJ/hr}$ کسر شود.

پ- برای هر وات-ساعت توان مصرفی $۳/۴۱ \text{ Btu}$ یا ۳۶۰۰ J یا $۳/۶۰ \text{ kJ}$ کسر شود.

لازم به یادآوری است که به دلیل خنک‌کنندگی عالی فن و موتور پمپ کولر تبخیری، ممکن است سازندگان ۱۰ تا ۲۵ درصد بار اضافی وارد کنند. بنابراین ممکن است پلاک ظرفیت اسمی عدد کمتری باشد. توصیه می‌شود با وات متر یا آمپر متر نوع yoke بررسی صورت گیرد.

سایر کسورات بسیار اندک هستند. تا وقتی که در طول آزمون کولرها به طور مستقیم در معرض تابش خورشید قرار ندارند، معمولاً از گرمای دریافتی از بیرون می‌توان صرف‌نظر کرد. با این وجود، در صورت قرار گرفتن در معرض چنین مواردی، باید به صورت زیر کسورات انجام شود:

الف- برای هر فوت مربعی از سطح خارجی کولر که در یک فضای باز مستقیماً گرمای خورشید را دریافت می‌کند ۳۰۰ Btu/h ($۳۱۶/۵ \text{ J/hr}$) کسر شود.

ب- برای هر فوت مربعی از سطح خارجی کولر که در یک فضای صنعتی مستقیماً گرمای خورشید را دریافت می‌کند ۲۰۰ Btu/h ($۲۱۱/۰ \text{ J/hr}$) کسر شود.

همانطور که اشاره شد، گرمای ورودی توسط آب جبران به سادگی مجاز است مگر این که آب آزمون به صورت غیرعادی گرم باشد. با این حال، در صورت لزوم، می‌توان این کسر را نیز انجام داد:

$$(tw - wbt) \times (\text{پوند آب ورودی در هر ساعت}) = \text{Btu/h}$$

$$(tw - wbt) \times 6/187 = kJ/hr \text{ (کیلوگرم آب ورودی در هر ساعت)}$$

به طوری که

tw دمای آب بر حسب فارنهایت یا سانتیگراد و wbt دمای مرطوب هوای بیرون بر حسب فارنهایت یا سانتیگراد است.

هنگامی که کل دریافت گرمای محسوس در هر ساعت از کل گرمای محسوس تبدیل شده مربوط کسر می‌شود، نتیجه آن (باقیمانده) **سرمایش خالص** بر حسب Btuh یا kJ/hr است که ظرفیت‌های واقعی برای سرمایش هوای بیرون است که توسط کولرهای مورد آزمون نمایش داده می‌شود.

محاسبات متعارف

البته سرمایش **خالص** بر حسب Btuh یا kJ/hr را می‌توان با سختگیری بیشتر و با دقت کمتری تعیین کرد. ابتدا دمای خشک هوا پیدا شود. سپس ظرفیت حجمی خروجی هوای شسته شده با لوله پیتو، آنومتر، شیپوره‌های کالیبره شده آزمون^۱ یا تجهیزات مشابه تعیین شود. در مرحله سوم با دماهای خشک و مرطوب به نمودار رطوبت‌سنجی (سایکرومتریک) مراجعه کرده و حجم ویژه تعیین شود.

در نهایت:

$$Btuh \text{ سرمایش خالص} = \frac{(cfm \text{ هوای شسته شده})(t_1 - t_2)(60)(0.24)}{\text{حجم ویژه هوای شسته بر شده حسب فوت مکعب بر پوند}}$$

به طوری که:

$$dbt = t_1 \text{ هوای ورودی کولر بر حسب فارنهایت}$$

$$dbt = t_2 \text{ هوای شسته شده خروجی کولر بر حسب فارنهایت}$$

$$0.24 = \text{گرمای ویژه هوا بر حسب Btu/lb.deg F}$$

یا

$$kJ/hr \text{ سرمایش خالص} = \frac{(m^3/min \text{ هوای شسته شده})(t_1 - t_2)(60)(1.117)}{\text{حجم ویژه هوای شسته بر شده حسب متر مکعب بر دقیقه}}$$

1- Pitot tube, anemometer, calibrated test nozzles

به طوری که:

$$dbt = t_1 \text{ هوای ورودی کولر بر حسب سلسیوس}$$

$$dbt = t_2 \text{ هوای شسته شده خروجی کولر بر حسب سلسیوس}$$

$$1.117 = \text{گرمای ویژه هوا بر حسب } kJ/kg.deg C$$

این معادلات نیازی به کسر گرمای محسوس دریافتی مجدد نداشته، اما به نظر می‌رسد که امکان بروز خطا محسوس است.

یکاهای ارزیابی (تعیین ظرفیت) تنظیم شده بر حسب آب و هوا

با این حال به دلیل بازتاب بهتر جریان حجمی و میزان تناسب آماده‌سازی هوای شسته شده جهت اهداف سرمایش، روش سرمایش *خالص* بر حسب Btuh یا kJ/hr به مراتب بهتر از روش جریان حجمی خروجی است. همچنین روش مزبور، ظرفیت سرمایش کل هوا را به صورت بهتری معرفی می‌کند.

متأسفانه، برای تجهیزات معلوم، با افت دمای مرطوب هوای ورودی، این یکاهای ارزیابی تغییر می‌کنند و به جای این که یک مقدار ثابت باشند یک مقدار لحظه‌ای هستند. آن‌ها اجازه مقایسه ساده بین کولرهای مجزا را نمی‌دهند، مگر این که به طور همزمان آزمایش شوند

برای ابطال چنین اختلافات آب و هوایی و امکان مقایسه نزدیک در شرایط مختلف، واژه‌های اصلاح شده‌ای طرح و پیشنهاد می‌شوند که به طور خلاصه عبارتند از سرمایش واحد^۱ بر حسب Btuh / deg F یا سرمایش واحد بر حسب kJ/hr/deg C که عبارتند از مقدار سرمایش خالص فوق‌الذکر تقسیم بر افت دمای مرطوب حاکم در طی آزمون، یا:

$$\text{الف. } \frac{\text{سرمایش خالص بر حسب Btuh}}{\text{اختلاف دمای خشک با مرطوب بر حسب فارنهایت}} = \text{سرمایش واحد } Btuh / deg F$$

$$\text{ب. } \frac{\text{سرمایش خالص بر حسب kJ/hr}}{\text{اختلاف دمای خشک با مرطوب بر حسب سلسیوس}} = \text{سرمایش واحد } kJ/hr / deg C$$

این یکاها، سرمایش محسوس هوای انجام شده به ازای هر درجه از افت دمای مرطوب هوای ورودی را اندازه‌گیری کرده و در نتیجه تاثیر شرایط آب و هوایی محلی را نادیده گرفته و همه مقایسه‌ها را بر اساس یک مبنای مشترک انجام می‌دهند. در نتیجه، آن‌ها ارزیابی دقیقی از ظرفیت سرمایش را، بدون

توجه به اقلیم یا مکان، ارائه می‌دهند. برای مقایسه کولرهای مختلف، آن‌ها تأثیرات ضریب نسبی تأثیر سرمایش را نشان می‌دهند، زیرا آن‌ها سرمایش محسوس واقعی را در مقایسه با آنچه که به صورت بالقوه در آن هوا ممکن است را اندازه‌گیری می‌کنند. آن‌ها توانایی مکانیکی و نه اقتصادی را برای خنک کردن هوا را اندازه‌گیری می‌کنند.

اقتصاد و مصرف توان

برای اندازه‌گیری اقتصاد و پیش‌بینی میزان مصرف برق به دو یکای دیگر نیاز است. این یکاها عبارتند از مقادیر سرمایش واحد فوق‌الذکر که بر مقدار وات توان مصرفی در طول آزمون تقسیم می‌شوند.

$$\text{الف.} \quad \text{سرمایش خالص بر حسب } Btuh/deg F = \frac{\text{سرمایش واحد } Btuh/deg F/watt}{\text{وات ساعت}}$$

$$\text{ب.} \quad \text{سرمایش خالص بر حسب } kJ/hr/deg C = \frac{\text{سرمایش واحد } kJ/hr/deg C/watt}{\text{وات ساعت}}$$

با استفاده از این یکاها، می‌توان کولرهای مستقیم را از نظر اقتصاد کارکرد و مصرف برق (توان) تخمینی مقایسه کرد.

EER، SEER و EER های تبخیری مستقیم

در بحران سوخت دهه ۱۹۷۰، وزارت انرژی ایالات متحده، نسبت بازده انرژی یا EER را که پیش از آن توسط انجمن‌های تبرید، برای مقایسه بازده دستگاه‌های تهویه مطبوع و دستگاه‌های مشابه (اما نه کولرهای تبخیری) بیان شده بود، را مورد استفاده قرار داد.

EER نشان‌دهنده مقدار Btus گرمای هوای دفع شده توسط کویل‌های تبخیری به ازای هر وات از توان مصرف شده توسط کمپرسورها، کندانسورها، برج‌های خنک‌کن، پمپ‌ها و فن‌های هوا است. فرض می‌شود چگالش توسط هوای بیرون، در دمای خشک $F 95 (C 35)$ و دمای مرطوب $F 75 (C 23/9)$ ، با هوای برگشتی در دمای خشک $F 80 (C 26/7)$ و دمای مرطوب $F 67 (C 19/4)$ انجام می‌شود.

همانند مقادیر اقتصادی سرمایش واحد فوق‌الذکر، EER عبارت است از ارزیابی بازده هزینه لحظه‌ای. وزارت انرژی می‌خواست مقادیر میانگین میدانی به مصرف‌کنندگان کمک کند تا خرید دراز مدت بهتری انجام داده و پس از آن نیز SEER یا همان EER فصلی را ارائه داد تا به صورت وزنی نشانگر آب و هوای منطقه و فصل سرمایش باشد. SEER از یک منطقه به منطقه دیگر فرق می‌کند.

برای اهداف ما EER بیشتر مناسب است. EER به سادگی محاسبه می‌شود:

$$EER = \frac{Btus}{wh} = \frac{\text{دفع شده از هوا توسط کویل‌های برودتی}}{\text{وات مصرفی}}$$

از روی آن مدل، می‌توان EER را برای کولرهای تبخیری مستقیم تعریف کرد که البته فقط بر حسب افت دمای مرطوب تعریف می‌شود. همچنین می‌توان EER تبخیری مستقیم را در سیستم متریک نیز تعریف کرد:

$$EER \text{ تبخیری} = \frac{Btus \text{ سرمایه‌ش واحد}}{\text{وات مصرفی}} = \frac{Btus}{wh} \quad \text{الف.}$$

$$EER \text{ تبخیری متریک} = \frac{kJ/hr \text{ سرمایه‌ش واحد}}{\text{وات مصرفی}} = \frac{kJ/hr}{wh} \quad \text{ب.}$$

EER های سرمایه‌ش هوا یا دستگاه (ماشین) و واحد سرمایه‌ش تبخیری

EER تمام واحدهای سرمایه‌ش مستقیم تبخیری که در بالا ارائه شدند و همچنین تمام دستگاه‌های برودتی و تبخیری مستقیم فوق تنها بازتابنده هوای خنک شده دستگاه بوده و نه سرمایه‌ش اتاق یا ساختمان توسط هوا. بنابراین، بهتر است تمام واحدهای فوق را واحد سرمایه‌ش هوا یا دستگاه (ماشین) نامید. آن‌ها نشان می‌دهند که دستگاه‌ها با چه بازدهی و با چه میزان هزینه‌ای، هوا را خنک می‌کنند، اما نه بیشتر از آن. تشخیص تمایز مهم است: معمولاً بین ۵ تا ۱۵ درصد از سرمایه‌ش، مربوط به هوای تامین شده به طریق برودتی بوده و ۴۰ تا ۸۰ درصد از هوای شسته شده، بدون بهبود آسایش، تلف می‌شود (به فصل ۳ مراجعه کنید). بنابراین، واضح است که عملکرد دستگاه‌ها نمی‌تواند سرمایه‌ش اتاق یا فضا را نمایش دهد.

ارزیابی کولر مستقیم

پیشنهاد شده است که از این پس سازندگان محصولات خود را در مدارک و مستندات خود به شرح زیر ارزیابی کنند. ارزیابی متریک دارای ماهیت مشابهی است و هر دو میزان حجم خروجی ارزیابی

شده^۱ و ظرفیت سرمایش هوای واحد(دستگاه)^۲ برای طیف وسیعی از مقاومت های استاتیک به شرح زیر درج می شوند:

عملکرد و اقتصاد کولر

Cooler Model Number	Free Flow Rated Output		Unit Air Cooling Capacity		Evaporative Air-Cooling EER/deg F	Metric Air-Cooling EER/deg C
	Cfm	M ³ /min	Btuh/deg F	kJ/hr/deg C		
	A__	3,012	85.3	----		
B__	4,485	127.0	----	----	----	----
C__	6,220	176.1	----	----	----	----
D__	8,032	227.4	----	----	----	----
E__	9,980	282.6	----	----	----	----
F__	14,992	424.5	----	----	----	----
Static Resistance						
	0.1 in.	25.0 Pa	0.1 in.	25.0 Pa	0.1 in.	25.0 Pa
A__	----	----	----	----	----	----
B__	----	----	----	----	----	----
C__	----	----	----	----	----	----
D__	----	----	----	----	----	----
E__	----	----	----	----	----	----
F__	----	----	----	----	----	----
Static Resistance						
	0.2 in.	50.0 Pa	0.2 in.	50.0 Pa	0.2 in.	50.0 Pa
A__	----	----	----	----	----	----
B__	----	----	----	----	----	----
C__	----	----	----	----	----	----
D__	----	----	----	----	----	----
E__	----	----	----	----	----	----
F__	----	----	----	----	----	----
Static Resistance						
	0.3 in.	75.0 Pa	0.3 in.	75.0 Pa	0.3 in.	75.0 Pa
(and so on through 1.0 in. [249 Pa])						

مقادیر خروجی ارزیابی شده جریان آزاد به مشتریان کمک می کند تا بر اساس "تعویض هوا" یا برآوردهای مشابه، کولر را برای نصب در پنجره یا سایر استفاده های بدون کانال انتخاب کنند. خروجی ارزیابی شده در مقاومت های استاتیک مختلف به معماران، مهندسين و پیمانکاران، در انتخاب کولر برای بارهای هوارسانی در حالت کانال دار کمک می کند. به منظور افزایش راحتی و صرفه جویی در هزینه، داده های مربوط به ظرفیت سرمایش هوای واحد بر حسب مقاومت های استاتیک مختلف، در تعیین اندازه کولر برای بارهای سرمایش در حالت کانال دار کمک می کند.

تنها کافی است شخص، مقدار ظرفیت سرمایش هوای واحد و EER سرمایش هوا را در میانگین افت دمای مرطوب ضرب کند تا به ترتیب ظرفیت سرمایش خالص میانگین در ساعت بر حسب Btuh یا

1- Rated output(volume)
2- Unit air cooling capacity

kJ/hr و میانگین EER برای آن اقلیم به دست آید. البته با تقسیم پارامتر اول بر پارامتر دوم، مصرف توان (برق) در هر ساعت به دست می‌آید. برای دستیابی به بهترین شرایط آسایش داخلی، شخص می‌تواند از نمودار سرمایه‌ش مفید (شکل ۱- فصل ۲۲) استفاده کند.

بدین ترتیب، کولرها را می‌توان هم از نظر اندازه دقیق و هم تخمینی، به انضمام بازده و اقتصاد ارزیابی کرد تا، به ویژه با توجه به فراگیر شدن فزاینده کولرهای مستقیم در خارج از اقلیم تاریخی خود، در مکان‌هایی مانند ایلینوی، ایندیانا، یا چندین ایالت دیگر که بازارهای بالقوه‌ای، به ویژه برای تأسیسات صرفه‌جویانه‌ای به صورت افزودنی یا دوشسته^۱ هستند، موجب رضایت صاحبان آن‌ها شوند. فروش در مناطق حاشیه‌ای مستلزم ارزیابی مهندسی است. نصب بر حسب قواعد سرانگشتی می‌تواند، به ویژه برای بسیاری از مشتریانی که به سرمایه‌ش برودتی عادت دارند، ولی برای صرفه‌جویی در هزینه‌ها از سرمایه‌ش تبخیری استفاده می‌کنند، موجب ناراحتی شود.

مقایسه کولرها

بدیهی است، در صورت تایید بالفعل موسسات آزمون‌گر، داده‌های فوق موجب بهترین مقایسه در میان کولرهای مستقیم می‌شوند. برای انواع تثبیت شده‌ای از کولرهای تجاری و صنعتی، استفاده از چنین کاتالوگ‌های حاوی داده باید نتایج بسیار دقیقی در بر داشته باشد.

برای کولرهای آبی با پد پوشالی که به صورت تدریجی و مداوم تخریب می‌شوند، به نظر می‌رسد بهتر است مقایسه بر حسب شرایط یک پد نو محدود شود. با این حال، در جایی که پدهای سلولزی سرعت تخریب را کاهش داده یا در جایی که، برطبق پیشنهاد فصل ۷، کولرها از وسایل طولانی‌کننده عمر پد استفاده می‌کنند، عملکرد طولانی‌تری را باید انتظار داشت. در غیر این صورت، کاربران باید کولرها را تا حدودی بزرگتر از اندازه انتخاب کنند تا در طول هر فصل، ظرفیت سرمایه‌ش و تهویه کمتری نسبت به ظرفیت کولر موجود باشد.

سرمایش مفید و آسایش

EER سرمایه‌ش هوا یا دستگاه کولر مستقیم اغلب بیش از 100 Btu به ازای هر وات مصرفی (kJ/w) $105/51$ است. EER قابل مقایسه در سیستم‌های برودتی معمولاً 6 تا 10 Btu/w ($6/33$) تا $6/33$ تا $105/55$ است که همانطور که اشاره شد، حداقل 5 تا 15 درصد سرمایه‌ش بالقوه به دلیل نفوذ هوا، نیازهای تهویه و هوارسانی و دریافت گرما توسط کانال‌ها، معمولاً در اتاق‌ها و ساختمان هدر می‌رود.

با این حال، در سرمایش تبخیری مستقیم از اتاق‌ها و ساختمان‌های واقعی، معمولاً از ۴۰ تا ۸۰ درصد از سرمایش بالقوه در زمانی تلف می‌گردد که هوای شسته شده استفاده شده به محیط بیرون تخلیه می‌شود. این میزان اتلاف، به طور گسترده‌ای بر حسب نیازهای ساختمان و افت دمای مرطوب هوا متفاوت است.

نمودار سرمایش مفید (در زیر) درصد قابلیت سرمایش محسوس مفید اتاق در هر دریچه خروجی کولر تبخیری مستقیم را نشان می‌دهد. این نمودار برای همه انواع کولرها شامل آبی، پرتابی، با پد افشانه‌ای، با پد دوار، با پد متحرک توسط تسمه، با ماده واسط صلب و هواساز کاربرد دارد. استفاده دقیق و گام به گام از نمودار باید به میزان قابل توجهی موجب بهبود در تعیین اندازه و انتخاب کولر تبخیری شود.

برای استفاده از مزایای تهویه و گردش هوا از طریق سرمایش تبخیری مستقیم، اتلاف ظاهری قابلیت هوای شسته شده ضروری است. بدون آن، دمای اتاق بالاتر و سرعت هوای اتاق پایین‌تر است و به وضوح سطح آسایش کاهش می‌یابد. راه حل جایگزین این موضوع، استفاده از سیستم‌هایی است که طوری طراحی شوند که فقط حجم متوسطی از هوای شسته شده را تامین کرده و در عوض فن‌های سقفی یا سایر فن‌های گردش دهنده در اتاق‌ها از طریق حرکت اضافی هوا در اطراف افراد این مسئله را جبران کنند. اگر چه شاید در موارد خاص این روش ارزش ویژه‌ای داشته باشد ولی این روش به نظر غیراقتصادی است.

برای دستیابی به آسایش رضایت‌بخش، تمام کولرهای تبخیری مستقیم باید هوای به اندازه کافی خنک را با حجم کافی تحویل دهند تا دو کار انجام شود: (۱) گرمای اتاق را از هر دو منشأ داخلی و خارجی جذب کرده و به خارج از منزل حمل کنند و (۲) از طریق گردش سریع هوا موجب تقویت انتقال حرارت از پوست انسان شوند (به فصل ۴ مراجعه کنید). بنابراین دما، حجم و سرعت هوا شسته شده ورودی به یک اندازه مهم است.

اغلب تاسیسات سرمایش تبخیری که خریداران خود را نا امید می‌کنند دارای اندازه کوچک‌تر از حد لازم هستند. هنگامی که هوای شسته شده ناکافی تحویل داده می‌شود، با جذب گرمای محسوس، اتاق دمای بالایی به دست می‌آورد. نخست این که این امر موجب ایجاد اختلاف دما در محیط داخلی (یعنی هوای خنک در مجاور دهنه خروجی کولر و هوای گرم‌تر در فاصله دورتر) می‌شود. از آنجا که دمای هوای داخل، بین دمای هوای شسته شده ورودی و دمای خروجی تغییر می‌کند، به همین دلیل این دماها افزایش می‌یابند. دوم این که میزان چرخش هوای داخلی ناکافی است.

بیشترین افزایش آسایش حاصل از کولر تبخیری مستقیم، ناشی از افزایش همرفت از پوست و تبخیر ناشی از افزایش سرعت هوای اتاق است. اگر کولر، حرکت ناکافی در هوای اتاق ایجاد کند می‌تواند

موجب افزایش سلب آسایش شود؛ در نتیجه ممکن است هوای اتاق به اندازه کافی بر فراز پوست گردش نکرده تا بر اثرات توقف تبخیر، در اثر افزایش رطوبت، غلبه کرده و در نتیجه موجب بروز احساسات ناخوشایندی شود

نمودار ۱- نمودار سرمایه‌ش مفید

درصد سرمایه‌ش مفید در دهانه خروجی کولر تبخیری

		Washed Air Temperature Gain in Rooms (Room Discharge temperature minus room entrance temperature), Degrees F															
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
Wet-bulb Depression of Air Entering Cooler, Degrees F	12	31%	42%	52%	63%	73%	84%	94%								6.7	
	14	27	36	45	54	63	71	80	89%	98%						7.8	
	16	23	31	39	47	55	62	70	78	86	94%					8.9	
	18	21	28	35	42	49	56	63	69	76	84	90%	97%			10.0	
	20	19	25	31	37	44	50	56	62	69	75	81	88	94%	100%	11.1	
	22	17	23	28	34	40	45	51	57	62	68	74	80	85	91	12.2	
	24	16	21	26	31	36	42	47	52	57	63	68	73	78	83	13.3	
	26	14	19	24	29	34	38	43	48	53	58	63	67	72	77	14.4	
	28	13	18	22	27	31	36	40	45	49	54	58	63	67	71	15.6	
	30	12½	17	21	25	29	33	37	42	46	50	54	58	62	67	16.7	
	32	12	16	20	23	27	31	35	39	43	47	51	55	59	62	17.8	
	34	11	15	18	22	26	29	33	37	40	44	48	51	55	59	18.9	
	36	10	14	17	21	24	28	31	35	38	42	45	49	52	56	20.0	
	38		13	16½	20	23	26	30	33	36	40	43	46	49	53	21.1	
	40		12½	16½	19	22	25	29	31	34	38	41	44	47	50	22.2	
42		12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	23.3		
		Drafty Zone			Recommended Operating Zone					Uneven Cooling Zone							
		1.7	2.2	2.8	3.3	3.9	4.4	5.0	5.6	6.1	6.7	7.2	7.8	8.3	8.9	Washed-Air Temperature Gain In Rooms, Degrees C	

سرعت گردش بهینه هوای داخل نسبی است، که به وضوح متناسب با فعالیت های انسانی متفاوت است. از آنجا که حرکت هوا باید با اثر کاهش آسایش به خاطر رطوبت هوای شسته شده مقابله کرده و در عین حال بخشی از احساس سرمایش را تامین کند احتمالاً به سرعت هوای بیش از ۵۰ fpm (۱۵/۲ m/min) نیاز است، که البته دو برابر آن ترجیح دارد.

از آنجا که در نمودارهای آسایش، سرعت هوای اتاق ۱۵ تا ۲۵ fpm (۴/۶ تا ۷/۶ m/min) به عنوان "هوای ساکن" طبقه بندی می شود و سرعت ۸۸۰ fpm (۴/۵ m/s) تنها نسیمی با سرعت ۱۰ (۱۶/۱ kmh) محسوب می شود، بر این اساس در اکثر کولرهای تبخیری مستقیم، برای سرمایش انسان، سرعت هوای اتاق ۱۰۰ تا ۲۰۰ fpm (۰/۵ تا ۱ m/s) توصیه شده و در موارد استثنایی نیز از سرعت ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ fpm (۱ تا ۵ m/s) استفاده می شود. سرعت های پایین تر برای کارهای ساکن و دفتری، و بالاترین سرعت ها برای فعالیت های جسمانی شدید یا برای کار در محیط های بسیار گرم مانند مجاور ماشین آلات داغ به کار می آید (به فصل ۸ مراجعه کنید).

نمودار سرمایش مفید

همانطور که اشاره شد، کولرهای تبخیر مستقیم، گرمای محسوس را از هوای بیرون دفع می کنند، نه از اتاق ها و فضاهای مورد سرمایش. از آنجا که سپس هوای شسته شده با ظرفیت سرمایش استفاده نشده از اتاق خارج می شود، سرمایش خالص مفید فضا کمتر از خروجی کولر است. بنابراین ارزیابی کولر فقط نیمی از فرآیند را نشان می دهد.

افزایش دمای مجاز هوای شسته شده داخلی عامل قابل تشخیص تری است. نمودار ۱ گستره ای از دریافتهای دما را نشان می دهد. در این نمودار، سیستم هایی که مقدار دریافت (افزایش) دمای هوای شسته شده در آن ها در سمت چپ و پایین منطقه مرکزی تیره رنگ مرزی واقع هستند، مستلزم اندازه بزرگ تر برای کولر، فن و کانال بوده و ممکن است سبب ایجاد کوران در اتاق شوند. در حالی که برای ایجاد آسایش در مناطقی با افت دمای مرطوب کم یا در فضاهایی که مستلزم هوارسانی بزرگی هستند، در اقلیم های خشک تر و طی استفاده عادی، کارکرد در سمت چپ منطقه مرکزی اقتصادی نیست.

اعداد جداگانه درون نمودار، نشان می دهد که درصد سرمایش محسوس مفید اتاق از خروجی کل کولر، از مقدار غیر اقتصادی ۱۰ درصد در سمت چپ-پایین تا مقدار غیر قابل دستیابی ۱۰۰ درصد در سمت راست-بالای نمودار تغییر می کند. مقدار ۱۰ درصدی فقط در مواردی قابل کاربرد است که هوارسانی فوق معمولی، در اقلیم بسیار خشک رخ می دهد، همانند لباس شویی، آشپزخانه، کابین پاشش رنگ یا کارخانه شیمیایی در شهر نوادا. مقدار ۱۰۰ درصدی می تواند در مناطق ساحلی تقریب

شود که آسایش انسان در برابر سرمایه‌های ماشین‌آلات، موتورها، توربین‌ها، موتورهای الکتریکی، تابلوهای برق، محصولات داغ و غیره در وهله دوم اهمیت قرار دارد.

درون منطقه مرکزی نمودار تا ۱۰ درجه فارنهایت ($5/6 \text{ deg C}$) افزایش دمای هوا شسته شده توصیه می‌شود که طی آن بارهای گرمایی داخلی عمدتاً محسوس بوده و نیاز به هوارسانی نیز محدود است. این افزایش دما از حداکثر قابلیت عملیاتی کولر بهره می‌برد که در آب و هوای عادی سرمایه‌های تبخیری از ۳۰ تا ۵۷ درصد است. در جایی که لازم است تا گرمای نهان داخلی غیرعادی یا بخار و یا گرد و غبار دفع شود، به هوای شسته شده بیشتری نیاز است که میزان آن بر حسب افزایش (دریافت) دمای 6 deg F ($3/3 \text{ deg C}$) و ۱۸-۳۴ درصد بازبایی قابلیت سرمایه‌های در طی شرایط دمای مرطوب یکسان نشان داده می‌شود.

شرایط آسایش

در میانگین کاربردها بهتر است از افزایش دمای ۷ تا 9 deg F ($3/9$) تا 59 deg C استفاده کرد. به ازای حداقل افزایش دمای ذکر شده، می‌توان با استفاده از هوای شسته شده بین ۲۱ تا ۷۳ درصد، سرمایه‌های مفید را ایجاد کرد که تاثیر معکوسی بر افت دمای مرطوب دارد. به ازای حداکثر افزایش دما نیز بین ۲۷ تا ۹۴ درصد سرمایه‌های مفید ایجاد می‌شود.

برای آسایش بیشتر، به ندرت سرمایه‌های مفید به بیش از ۴۰ درصد ظرفیت لازم می‌رسد. بنا بر این خط "پلکانی" کم رنگی که از منطقه مرکزی عبور می‌کند، حدود فوقانی برای شرایط واقعی آسایش اتاق را پیشنهاد می‌دهد. ناحیه بین خط مزبور و خط پلکانی پر رنگ فوقانی به جای آسایش واقعی، نشان‌دهنده سرمایه‌های "آسایش‌بخش" است.

در بالا و مایل به سمت راست منطقه مرکزی، آسایش اتاق در معرض دماهای گرم و غیریکنواخت و گردش هوای ناکافی است. این امر در مورد خشک‌ترین اقلیم‌ها و برای اتاق‌های نسبتاً کوچک قابل قبول است اما موجب کاهش هزینه کولر، فن و اندازه کانال می‌شود. کارکرد در درون منطقه مرکزی نشان‌دهنده شرایط و اقلیم‌های آب و هوایی متوسط (عادی) است.

به طور ویژه، خط پله‌ای قطری پایینی، حداکثر افزایش دمای اتاقی را نشان می‌دهد که به هوای شسته شده اجازه می‌دهد تا حداقل به اندازه نصف افت دمای مرطوب، خنک‌تر از هوای بیرون تخلیه شود تا اطمینان حاصل شود که تمام مناطق مورد سرمایه‌های داخلی، اقلماً دارای خنکی مزبور هستند. خط پله‌ای قطری بالایی، مرز متناظری را نشان می‌دهد که در آن تمام اتاق‌های مورد سرمایه‌های حداقل به اندازه یک سوم افت دمای مرطوب، خنک‌تر از هوای بیرون هستند.

شرایط آسایش عموماً در ناحیه مرکزی و زیر خط پله‌ای کم‌رنگ‌تر تا آنجا قرار دارد که افزایش دمای هوای شسته شده داخلی به 10 deg F ($5/6 \text{ deg C}$) برسد. از آن جا که اکثر انسان‌ها می‌توانند تفاوت‌های جزئی دمای داخلی را تشخیص دهند، این مقدار افزایش دمای هوای شسته شده بسیار مشهود است. در هوای مرطوب، وقتی افت دمای مرطوب تنزل می‌کند، ممکن است مناطقی که در دورترین فاصله از ورودی هوای شسته شده قرار دارند دمای هوای محیط بیرونی را احساس کنند. علاوه بر این، چون تلاطم هوا با فاصله گرفتن از نقطه ورودی کاهش می‌یابد، آسایش در این مناطق، مرزی می‌شود. بنابراین، بر حسب یک قاعده سرانگشتی افزایش (دریافت) دمای هوای شسته شده داخلی به حدود 10 deg F ($5/6 \text{ deg C}$) محدود می‌شود.

بهترین افزایش دمای متوسط هوای شسته شده احتمالاً 8 deg F ($4/4 \text{ deg C}$) است. افزایش کم‌تر موجب جریان هوای تهویه اضافی شده و در اکثر کارهای صنعتی به تلاطم هوای بیشتری نیاز شده ولی سرمایه‌گذاری و هزینه برق‌های افزایش می‌یابد. وقتی که هوای شسته شده باید فاصله قابل ملاحظه‌ای را از نقطه ورود تا نقطه خروج طی کند (مانند طی کردن دو اتاق پشت سر هم) یا وقتی که باید گرد و غبار داخلی، بخار و بو را دفع کند، افزایش دمای کم‌تر نیز مناسب است.

اگر افزایش دمای هوای شسته شده 8 deg F ($4/4 \text{ deg C}$) باشد، دمای میانگین اتاق در حدود 4 F ($2/2 \text{ deg C}$) بالاتر از دمای هوای شسته شده ورودی است. این میانگین، برای دو اتاق پشت سر هم، به ترتیب $2/5 \text{ deg F}$ ($1/4 \text{ deg C}$) و $6/5 \text{ deg F}$ ($3/6 \text{ deg C}$) بالاتر از سطح مزبور است.

افزایش بالاتر دمای هوای شسته شده در جایی مناسب است که این فاصله‌ها کوتاه هستند، اتاق‌ها کوچک هستند و تهویه (هوارسانی) کم اهمیت است، نظیر حالتی که بارهای حرارتی داخلی محسوس هستند و نه نهان و مشکلات گرد و غبار ناچیز است.

ورود هوای شسته شده به اتاق

در شرایطی که لازم است تا کارکرد در ناحیه سمت چپ یا منطقه دارای کوران صورت گیرد، بهتر است هوای شسته شده از طریق دیفیوزرهای سقفی وارد اتاق شده تا تاثیر برخورد مستقیم جریان به افراد حداقل باشد. در مقابل، بهترین کارکرد در منطقه سمت راست یا ناحیه سرمایه‌ش غیریکنواخت، از طریق دریچه‌های دیواری جانبی مرتفع یا کولرهای بدون کانال دیواری یا پنجره‌ای، در اثر تماس با انسان‌ها، از نظر حجم پایین هوای شسته شده، جبران می‌شود.

کاربردهای ویژه

نمودار سرمایش مفید، امکان مقایسه مستقیم هزینه‌های عملیاتی کولرهای مستقیم و کولرهای برودتی را می‌دهد. همانطور که در فصل ۲۴ توضیح داده شده، این نمودار کمک می‌کند تا EER سرمایش هوا در کولرهای مستقیم را به مبنایی، که در این نمودار EER سرمایش اتاق^۱ نام دارد، ارجاع داده که همچنین از EER سرمایش اتاق دستگاه‌های برودتی نیز قابل محاسبه است. استفاده از این مبنای مشترک به عنوان EERrc یا EERmrc بسیار رایج است.

در حالی که در این دو سیستم سرمایش، گرمای نهان داخلی به طور متفاوتی دفع می‌شود ولی هر کدام به وضوح گرمای محسوس و نهان قابل مقایسه‌ای را دفع می‌کنند. بنابراین، برای یک اتاق، فضا یا ساختمان مشخص، می‌توان نوشت:

$$10. \text{ تلفات} - \text{EER تبخیری} = \text{EER سرمایش اتاق} = \text{تلفات} - \text{EER مرجع}$$

یا

$$\text{تلفات تبخیری} - \text{EER تبخیری} = \text{EERrc} = \text{تلفات مرجع} - \text{EER مرجع}$$

همانطور که اشاره شد، تلفات مربوط به سرمایش برودتی معمولاً ۵ تا ۱۵ درصد است ولی در سرمایش مستقیم می‌تواند خیلی بیشتر باشد که در حدود ۴۰ تا ۸۰ درصد است، که همانطور که در نمودار سرمایش مفید نشان داده شده است، از روی افت دمای مرطوب هوای بیرون و افزایش دمای هوای شسته شده داخلی در قبل از تخلیه به محیط بیرون به دست می‌آید. محاسبه نمونه زیر نحوه استفاده را نشان می‌دهد.

محاسبه نمونه

یک مهندس معمار باید یک سیستم سرمایش را برای یک ساختمان با طراحی جدید انتخاب کند. با توجه به افزایش سریع نرخ برق در این ناحیه، مشتری خواستار آن است که توجه ویژه‌ای به هزینه‌ها صورت بگیرد.

برای تایید، دو سیستم به مهندس مزبور ارائه می‌شود. یکی از سیستم‌ها، دستگاه معمولی برودتی تراکم بخار با ظرفیت ۶۰ تن و با EER تایید شده برابر ۹ (EER متریک برابر ۹/۵) با استفاده از هوای خنک کن ۹۵ F (۳۵ C) برای کندانسور است. دستگاه دیگر یک کولر تبخیری مستقیم است که دارای ماده واسط طولی‌العمری است که موجب تضمین یک عملکرد پایدار و قابل پیش‌بینی می‌شود. این

دستگاه دارای EER تایید شده برابر ۳/۱ به ازای هر درجه فارنهایت (EER متریک ۵/۶ در درجه سلسیوس) است. این مکان دارای افت دمای مرطوب ۲۲ deg F (۱۲/۲ deg C) است در نتیجه EER فصلی دستگاه ۶۸/۲ (EER متریک برابر ۷۱/۹۶) است.

این ساختمان به صورت تخمینی دارای حدود ۵ درصد تلفات حرارتی ناشی از هوای تغذیه شده به طریق برودتی از کانال‌های واقع در فضای زیر شیروانی و ۱۰ درصد تلفات دیگر به دلیل نفوذ هوا به بیرون و غیره است که ۵ درصد آن به خاطر هوای جبرانی و باقی مانده آن در اثر نشستی است. بنابراین انتظار می رود کل تلفات هوا ۱۵ درصد باشد.

پیش‌بینی می شود افزایش دمای هوای شسته شده در قبل از تخلیه به بیرون ۸ deg F (۴/۴ deg C) باشد. تلفات در نمودار سرمایه‌ش مفید تعیین خواهند شد.

مسئله: درصد صرفه‌جویی محتمل در برق (توان) را در صورت سرمایه‌ش تبخیری پیدا کنید.

۱. محاسبه EER سرمایه‌ش اتاق:

دستگاه برودتی:

$$EER_{rc} \text{ برابر } 7/65 = EER \text{ برابر } 9 \text{ منهای } 15 \text{ درصد}$$

$$EER_{rc} \text{ برابر } 8/08 = 15 \text{ درصد} - EER \text{ متریک برابر } 9/5$$

دستگاه تبخیری:

از نمودار سرمایه‌ش مفید، سرمایه‌ش مفید ۴۵ درصد خواهد بود، بنابراین مقدار تلفات ۵۵ درصد تخمین زده می‌شود. در نتیجه، EER سرمایه‌ش اتاق به صورت تبخیری عبارت است از ۶۸/۲ که منهای ۵۵ درصد آن، EER_{rc} برابر ۳۰/۶۹ را نتیجه می‌دهد.

از نمودار سرمایه‌ش مفید، سرمایه‌ش مفید ۴۵ درصد خواهد بود، بنابراین مقدار تلفات ۵۵ درصد تخمین زده می‌شود. در نتیجه، EER سرمایه‌ش اتاق به صورت تبخیری عبارت است از EER متریک برابر ۷۱/۹۶ که منهای ۵۵ درصد آن EER_{rc} ۳۲/۳۸ را نتیجه می‌دهد.

۲. محاسبه درصد صرفه‌جویی فصلی احتمالی

$$\frac{30.09 EER_{rc} - 7.65 EER_{rc}}{30.09 EER_{rc}} = 75.1\%$$

$$\frac{32.38 EER_{rc} - 8.08 EER_{rc}}{32.38 EER_{rc}} = 75.1\%$$

افزایش 7 deg F ($3/9 \text{ deg C}$) در دمای هوای شسته شده داخلی موجب بهبود آسایش در برخی از روزهای سال می‌شود ولی به دلیلی اتلاف ۶۰ درصدی آن، میزان صرفه‌جویی را به ۳۸٪ کاهش می‌دهد.

با توجه به تعریف EER، دمای هوای کندانسور 95 F (35 C) است. در نتیجه هر زمان که دمای هوای کندانسور از این مقدار بیشتر شود مقدار EER دستگاه برودتی به کمتر از مقدار فوق کاهش یافته و درصد صرفه‌جویی به بالاتر از مقدار محاسبه شده فوق افزایش می‌یابد.

تعیین اندازه کولر به صورت خام

کولرهای تبخیری، از نوع آبی، پرتابی، با پد افشانه‌ای، با پد دوار، یا هواساز، به طور سنتی با حجم هوای شسته شده تعیین اندازه می‌شوند. اکثر سازندگان، نمودارها، نقشه‌ها، خط‌کش‌های محاسبه یا راهنمایی‌های دیگری را برای فروشندگان و نمایندگان‌ها ارائه می‌دهند تا تعیین کنند که برای سرمایش یک سازه به چند بار "تعویض هوا" نیاز است. "تعویض هوا" میزان حجم هوای شسته شده داخلی را نشان می‌دهد که با حجم اتاق یا فضای مورد سرمایش برابر است. با ورود هوای کولر، در طی هر بار تعویض هوا، فرض می‌شود که هوای قبلی به بیرون رانده شده، در نتیجه فرکانس تعویض هوا معرف نرخ پیوسته هوارسانی است.

در ابتدا حجم فضای مورد سرمایش بر حسب فوت مکعب (یا متر مکعب) محاسبه یا تخمین زده شده که برابر یک بار تعویض هوا است. سپس دارنده کولر به سادگی دوره تناوب مورد نیاز را فرض می‌کند که معمولاً بین یک بار در هر چهار دقیقه تا یک بار در هر دقیقه است. اگر دوره تناوب انتخابی مثلاً یک بار تعویض هوا در هر دو دقیقه است حجم فضا بر دو تقسیم شده و مقدار آن برابر جریان مورد نیاز برای سرمایش آن فضا می‌شود. بدین ترتیب نزدیکترین کولر (ترجیحاً اندازه بزرگ‌تر بعدی) انتخاب می‌شود.

در ساده ترین حالت، دوره تناوب مورد نیاز تعویض هوا، صرفاً بر اساس طراحی آن محل برای افت دمای مرطوب است. در این رابطه ویژگی‌هایی ساختمانی مورد سرمایش، بارهای گرمایی داخلی و نیازهای تهویه نادیده گرفته می‌شود. همچنین در این روش به اندازه‌ای که به اقلیم آب و هوایی توجه می‌شود، برای ایجاد راحتی انسان تلاشی صورت نمی‌گیرد.

بنابراین اغلب دوره تناوب تعویض هوا به طور کامل از روی داده‌های آب و هوایی انتخاب می‌شود. عوامل مهمی مانند عایق کاری ساختمان، قرار گرفتن در معرض آفتاب، مساحت پنجره، سایه، درزبندی و منابع گرمایی داخلی کاملاً نادیده گرفته می‌شوند. این سیستم برای تعیین اندازه کولرهای تبخیری

توصیه نمی‌شود. این روش موجب می‌شود تا همه سازه‌هایی که "به طور طبیعی گرم" هستند کمتر از حد و آن‌هایی که نیستند بیش از حد خنک شوند.

افت دمای مرطوب طراحی موضعی برای هر مکان معمولاً از راهنمای ASHRAE یا از فصل ۵، بر حسب دماهای خشک و مرطوب محاسبه شده و به طور مرتب به روز می‌شوند. مکان‌هایی که درج نشده‌اند می‌توانند از داده‌های نزدیک‌ترین مکان درج شده استفاده کنند، بدین ترتیب شاید ده هزار مکان تحت پوشش قرار بگیرند.

برخی از سازندگان نقشه‌هایی را ارائه می‌دهند که در آن‌ها چهار "منطقه" افت دمای مرطوب در ایالات متحده نشان داده شده و در کنار آن ضرایب تنظیم ساده‌ای نیز برای بارهای گرمایی داخلی و خارجی درج شده‌است. در نتیجه، بارهای سنگین خارجی، نظیر حالت ساختمان دارای عایق‌کاری ضعیف، مساحت شیشه بیش از حد یا بارهای سنگین داخلی ناشی از اجاق‌های داغ، ماشین آلات یا تعداد افراد، موجب افزایش دوره تناوب مورد نیاز تعویض هوا می‌شود.

یک سازنده، کل محاسبات را در خط‌کش‌های محاسبه ساده کاغذی قرار داده‌است. در یک طرف آن، چهار منطقه دمای مرطوب به همراه ضرایب تنظیم عادی خارجی و داخلی برای محاسبه زمان مورد نیاز به ازای هر تعویض هوا وجود دارد. در طرف دیگر حجم فضای مورد سرمایه‌گذاری محاسبه شده و زمان تعویض هوا اعمال می‌شود تا جریان مورد نیاز هوای شسته شده به دست آید.

در این روش تعیین اندازه برای سیستم کولر، فرض می‌شود که تمام هوای شسته شده، برای مثال، تا ۸۰ درصد wbt هوای خارجی خنک شده در حالی که بسیاری از کولرها تنها ۵۰، ۶۰ یا ۷۰ درصد اشباع شده و قادر به سرمایه‌گذاری تا حد برنامه‌ریزی شده نیستند. افرادی که از سیستم‌های ساده استفاده می‌کنند نیز هشدار می‌دهند که خروجی اسمی کولر در کاتالوگ‌ها و مستندات می‌توانند بر طبق آنچه در فصل ۷ گفته می‌شود دچار تورم شوند. خروجی‌های درج شده بر حسب مقاومت استاتیک ترجیح داده می‌شوند.

علاوه بر سیستم سریع تعیین اندازه فوق، روش‌های دیگری نیز وجود دارد. در تمام این روش‌ها از قضاوت انسان در مورد بارهای گرمایی ساختمان استفاده شده و از مناطق آب و هوایی کلی دلخواهی استفاده می‌شود که تأثیرات اقلیمی محلی را استثنا کرده و در نتیجه تنها هنگامی کار می‌کنند که با دقت مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این حال، روش‌هایی که از واژگان مبهم مانند "خشک"، "نیمه خشک"، "نیمه گرمسیری" و "میانگین" برای توصیف سطوح رطوبت استفاده می‌کنند توصیه نمی‌شوند.

تعیین اندازه بهتر کولر

در صورت امکان، تمام انواع کولرهای تبخیری مستقیم باید با همان اصول مهندسی مورد استفاده برای سرمایه‌گذاری برودتی تعیین اندازه شوند.

در ابتدا، دماهای طرح خارجی، از روی بهترین داده‌های محلی موجود و یا منتشر شده تعیین شده و شرایط طراحی داخلی مورد نظر نیز انتخاب می‌شوند. با استفاده از آن‌ها، توسط اصول شناخته شده انتقال حرارت، بارهای گرمایی محسوس محاسبه می‌شوند. حرارت رسانش یافته از طریق سقف، دیوارها، پنجره‌ها و کف‌ها به علاوه حرارت خورشیدی ورودی از پنجره‌ها و گرمای داخلی تولید شده توسط چراغ‌های داخلی، لوازم، افراد و غیره جمع‌آوری شده تا دریافت گرمای محسوس به صورت ساعتی به دست آید. گرمای نهان دریافتی معمولاً نادیده گرفته می‌شود، زیرا هوای شسته شده به طور خودکار آن‌ها را به بیرون تخلیه می‌کند مگر این که بسیار بزرگ باشند.

به طور مشابه، اگر کولرها دارای فن بوده و می‌توانند فشار فضای مورد سرمایه‌گذاری را افزایش دهند، بدین ترتیب مانع از نفوذ هوا شده و دریافت حرارت ناشی از نفوذ هوا را می‌توان نادیده گرفت. در جایی که فن‌ها از عناصر سرمایشی دور بوده و، همان گونه که در فصول ۱۲ تا ۱۶ ذکر شد، فشار منفی ایجاد می‌کنند، دریافت حرارت ناشی از نفوذ هوا قابل ملاحظه است. مقدار این حرارت دریافتی را می‌توان با هر نوع روش استاندارد، نظیر آنچه که جزییات آن در کتاب‌های راهنمای ASHRAE ذکر شده محاسبه نمود.

پس از تعیین میزان بارهای گرمایی (حرارتی) سیستم‌های سرمایشی طوری طراحی می‌شوند که این بارها را دفع کنند. دو روش محاسبه منطقی ارائه شده است: یکی از این دو روش سنتی است و روش دیگر نیز توسط این کتاب طرح و پیشنهاد می‌شود.

در روش سنتی، در ابتدا دمای تحویل احتمالی هوای شسته شده از روی افت دمای مرطوب طراحی هوای بیرون و بازده اشباع تخمینی کولر برآورد می‌شود. بازده اشباع به طور گسترده‌ای با نوع دستگاه و سرعت‌های هوای مورد استفاده تفاوت می‌کند. معمولاً در کولرهای با کیفیت، که دارای سطوح اشباع با دوام و جریان آب قابل ملاحظه در آب و هوای خشک هستند، مقدار این بازده عمیقاً ثابت است. متأسفانه، پوشال کولرآبی به صورت پیوسته تخریب شده و در نتیجه برآوردها کمتر از حالتی است که بازتابنده عملکرد یک پد نو باشد.

با استفاده از بازده اشباع ۸۰ درصد می‌توان از روی محاسبات نمونه، دمای هوای شسته شده را به صورت زیر محاسبه کرد:

$$100F \text{ dbt} - 80\% (100F \text{ dbt} - 70F \text{ wbt}) = 76F$$

یا

$$37.8C \text{ dbt} - 80\% (37.8C \text{ dbt} - 21.1C \text{ wbt}) = 24.4C$$

از آنجا که دمای هوای داخلی، میانگین دماهای ورودی و خروجی هوای شسته شده است، در ادامه افزایش دمای هوای شسته شده داخلی محاسبه می‌شود. با فرض دمای طرح مورد نظر $80^\circ F$ ($26/7^\circ C$) میزان افزایش عبارت است از:

$$100 F \text{ dbt} - 80\% (100 F \text{ dbt} - 70 F \text{ wbt}) = 8 \text{ deg F}$$

یا

$$37/8 C \text{ dbt} - 80\% (37/8 C \text{ dbt} - 21/1 C \text{ wbt}) = 24/4 \text{ deg C}$$

افزایش دمای بین $7^\circ F$ تا 9 deg F ($3/5 - 9 \text{ deg C}$) قابل قبول است.

سپس جریان حجمی هوای شسته شده مورد نیاز برای حفظ دمای طرح داخلی $80^\circ F$ ($26/7^\circ C$)، به شرح زیر، محاسبه می‌شود:

$$Q = \frac{H(V_s)}{(t_1 - t_2)(sp \text{ ht})(60)} \quad .11$$

به طوری که:

H: گرمای محسوس هوای داخل که دفع می‌شود بر حسب Btuh (یا kJ/hr)

Vs: حجم ویژه هوای شسته شده ورودی اتاق بر حسب cu ft/lb (یا m^3/kg)

$t_1 - t_2$: افزایش دمای هوای شسته شده داخلی از ورود تا خروج بر حسب deg F (deg C)

sp ht: گرمای ویژه هوا برابر $0/24$ (یا در سیستم متریک $1/117$)

Q: جریان مورد نیاز هوای شسته شده برای دفع H مقدار گرمای محسوس به علاوه مقادیر معمولی از بخارات، گرد و غبار و آلاینده‌های مشابه بر حسب cfm (یا m^3/min)

۱۲. معادله فوق معمولاً به صورت زیر کوتاه می‌شود:

$$cfm = \frac{Btuh}{1.08(t_1 - t_2)}$$

یا

$$m^3/s = \frac{kJ/hr}{4289(t_1 - t_2)}$$

مثال: برای دفع یک بار گرمایی محسوس ساعتی ۵۰,۰۰۰ Btuh (یا ۵۲.۷۵۳ kJ/hr)، حجم هوای شسته شده مورد نیاز بر اساس $t_1 = ۶۵\text{ F}$ ($۱۸/۳\text{ C}$) و $t_2 = ۷۳\text{ F}$ ($۲۲/۸\text{ C}$)

$$\frac{50,000}{1.08 (8)} = 5790\text{ cfm}$$

یا

$$\frac{52,753}{4289 (4.5)} = 2.73\text{ m}^3/s$$

در تاسیسات بدون کانال، کولرهایی که دارای اندازه یک مقدار بزرگتر هستند (در اینجا ۶۲۲۰ cfm یا $۲/۹۴\text{ m}^3/s$) انتخاب می‌شوند. در صورت نیاز به کانال، ابتدا آن‌ها طراحی شده و مقاومت استاتیک آن‌ها محاسبه می‌شود. سپس کولرهایی انتخاب می‌شوند که جریان حجمی هوای شسته شده را در برابر مقاومت اصطکاکی مورد نیاز تحویل می‌دهند. در بسیاری از مواقع، کولرهایی که اندازه آن‌ها اندکی ناکافی است را می‌توان با افزایش دور فن آن‌ها، برای تولید جریان خروجی یکسان در طی فشار استاتیک بالاتر، مورد استفاده قرار داد. این امر می‌تواند تنها با تغییر تنظیم نسبت پولی حاصل شده اما گاه به موتور یا دمنده بزرگتری نیاز می‌شود.

این روش اندازه‌گیری قدیمی خیلی بهتر از هر روش تقریبی سریع است و اغلب مهندسان و نمایندگان-های مجرب از آن استفاده می‌کنند. با این حال این روش کاملاً رضایتبخش نیست و خروجی کولر را در شرایط تهویه (هوارسانی) و نه سرمایه‌ش در نظر می‌گیرد. این امر باعث می‌شود کولرها دارای خروجی حجمی کافی بوده ولی بازده اشباع نامناسبی داشته و باعث سلب آسایش شوند. علاوه بر این، هر گونه انحراف در بازده اشباع کولر، از مقدار تخمینی ۸۰ درصدی، خطای قابل توجهی را ایجاد می‌کند.

بهترین روش تعیین اندازه پیشنهادی برای کولر

در اینجا مولف یک روش جایگزین را با استفاده از سیستم اندازه‌گیری عملکردی ارائه می‌دهد که قبلاً پیشنهاد شده بود. در این روش به دلیل استفاده از عملکرد سرمایشی کل کولرهای تبخیری (و نه صرفاً حجم هوا)، تعیین اندازه به صورت دقیق‌تر و بدون خطا انجام می‌شود.

در ابتدا بار گرمایی محسوس ساعتی فضای مورد سرمایش مثل روش قبل و با استفاده از دماهای خشک طرح هوای داخل و خارج و با صرف نظر کردن از گرمای نهان و گرمای دریافتی ناشی از نفوذ هوا (بسته به مورد) محاسبه می‌شود.

پس از تعیین بار سرمایشی کل، افت دمای مرطوب طرح محل، بر طبق جداول ASHRAE یا فصل ۵ محاسبه شده و در ستون سمت چپ نمودار سرمایش مفید، ردیف آن پیدا می‌شود. سپس یک افزایش دمای هوای شسته شده داخلی، که اغلب در حدود 8 deg F ($4/4 \text{ deg C}$) است، انتخاب می‌شود.

افزایش دمای هوای شسته شده داخلی

افزایش (دریافت) دما، به هوای شسته شده خنک‌کننده اجازه می‌دهد تا بر میزان آسایش ایجاد شده، هوارسانی انجام شده و توان مصرفی و حتی اندازه کولر، فن، کانال و دریچه خروجی تاثیر بگذارد. بنابراین انتخاب آن‌ها مستلزم دقت است. همانطور که اشاره شد، وقتی باید مقدار عادی گرد و غبار، بخار، دود یا بارهای نهان دفع شود، وقتی که در اتاق‌های بزرگ به دمای یکنواختی نیاز است یا وقتی که هوای شسته شده در قبل از تخلیه از دو اتاق می‌گذرد، یک افزایش دمای 6 deg F ($3/3 \text{ deg C}$) از طریق جریان هوای اضافی کفایت می‌کند. برای بارهای تهویه‌ای بیشتر، می‌توان از مقادیر کم‌تر افزایش دمای هوای شسته شده استفاده کرد، که ترجیحاً با استفاده از دریچه‌های خروجی کم کوران صورت می‌گیرد.

البته، وقتی که بارهای اتاق اندک بوده و عمدتاً محسوس هستند و نیاز خاصی به تهویه (هوارسانی) نیست یا وقتی که آن‌ها کوچک بوده و جریان هوای شسته شده داخلی کوتاه است، می‌توان از افزایش دمای 10 deg F ($5/6 \text{ deg C}$) بهره گرفت. مطمئناً، هر چه این افزایش دما بالاتر باشد، فضا گرم‌تر بوده ولی هزینه‌های اولیه و مصرف برق پایین‌تر است.

با انتخاب یک افزایش دمای مناسب، ستون آن در نمودار سرمایش مفید پیدا می‌شود. از تقاطع آن ستون با ردیف افت دمای مرطوب، درصد مربوط سرمایش مفید خوانده می‌شود. اگر ردیف جدول مربوط به افت دمای مرطوب 30 deg F ($16/7 \text{ deg C}$) و افزایش دمای 8 deg F ($4/4 \text{ deg C}$) است، درصد سرمایش مفید ۳۳ درصد است. اگر افزایش دمای انتخابی 6 deg F ($3/3 \text{ deg C}$) یا 10 deg F ($5/6 \text{ deg C}$) است، درصد سرمایش مفید ۲۵ و ۴۲ درصد خواهد شد. اگر افت دمای مرطوب بالاتر باشد، تمام درصدهای مزبور پایین‌تر است. افت دمای مرطوب کمتر می‌تواند درصدها را افزایش دهد.

اندازه کولر مربوط

اینک در اینجا درصد سرمایه‌ش مفید که ۳۳ درصد است، به دو بخش، یعنی گرمای محسوس دریافتی در ساعت در فضای مورد سرمایه‌ش و گرمایی که در هر ساعت باید دفع شود، تقسیم می‌گردد. این بخش ساده، ظرفیت خنک کننده مورد نیاز برای حذف این گرما را محاسبه می‌کند. بخش ساده‌تر، ظرفیت کولری که برای دفع این حرارت لازم است را محاسبه می‌کند. کولر باید دارای یک ارزیابی با عنوان سرمایه‌ش خالص بر حسب Btuh یا kJ/hr برای توان سرمایه‌ش بر طبق معادلات ۴الف و ۴ب باشد.

در نتیجه:

$$13\text{الف} \quad \text{بار گرمایی محسوس بر حسب Btuh} = \frac{\text{سرمایش خالص بر حسب Btuh}}{\% \text{ سرمایه‌ش مفید}}$$

یا

$$13\text{ب} \quad \text{بار گرمایی محسوس بر حسب kJ/hr} = \frac{\text{سرمایش خالص بر حسب kJ/hr}}{\% \text{ سرمایه‌ش مفید}}$$

کولری با این اندازه باید این بار را رفع کند، اما تغییرات آب و هوایی می‌تواند بر آن تأثیر بگذارد. برای ایمن‌سازی انتخاب کولر در برابر تغییرات دمای مرطوب، انتخاب ایده‌آل بر حسب سرمایه‌ش واحد Btuh/F یا سرمایه‌ش واحد kJ/hr است که با معادلات ۷الف و ۷ب بیان شده‌اند. این معادلات نشان‌دهنده ظرفیت سرمایه‌ش محسوس کولر به ازای هر درجه از افت دمای مرطوب است و در نتیجه کمک می‌کند تا برای سطح رطوبت متوسط هر مکان، کولر مناسبی انتخاب شود، به طوری که اگر گاهی افت دمای مرطوب کم است از کولر بزرگ‌تر و اگر در بیشتر مواقع افت دمای مرطوب زیاد است از کولر کوچک‌تر استفاده شود.

این موضوع را می‌توان از دیدگاه آسایش مطرح کرد. وقتی در برخی اوقات افت دمای مرطوب کم است، کولرهای بزرگ‌تر هوای شسته شده داخلی بیشتری را گردش می‌دهند و وقتی که مقدار متوسط آن بالا است، با توجه به دمای غالباً پایین‌تر آن، میزان گردش کم‌تر است.

متأسفانه، در حال حاضر هیچ سازنده‌ای کولرهای مستقیم خود را بر حسب سرمایه‌ش Btuh/deg F یا kJ/hr/deg C ارزیابی نمی‌کند. وقتی این ارزیابی صورت گرفته یا ارزیابی معادلی برای توان

سرمایشی تنظیم شده بر حسب وضعیت آب و هوا ایجاد شود، محاسبات مربوط مقادیر زیر را برآورد می‌کنند:

$$\text{الف } ۱۴ = \frac{\text{سرمایش خالص بر حسب } Btuh}{\text{افت دمای مرطوب بر } deg F} = \text{سرمایش خالص بر حسب } Btuh / deg F$$

یا

$$\text{ب } ۱۴ = \frac{\text{سرمایش خالص بر حسب } kJ/hr}{\text{افت دمای مرطوب بر } deg C} = \text{سرمایش خالص بر حسب } kJ/hr / deg C$$

کولرها طوری انتخاب می‌شوند که در طی شرایط طرح هوای بیرون، دمای طرح یکسانی را در داخل حفظ کرده و در عین حال هوای داخلی را به خوبی گردش داده و مقادیر معمول بخارات، بو، گرد و غبار و غیره را به بیرون حمل کنند.

کاربرد و تعیین اندازه کانال

در حالت استفاده بدون کانال، کولرها باید بر حسب مقادیری از سرمایش واحد انتخاب شوند که تقریباً برابر یا کمی بیش از احتیاجات فوق‌الذکر باشد. تقریباً در تمام ساعات تابستانی، آن‌ها باید دمای طرح هوای داخل یا کم‌تر از آن را ایجاد کنند. در حال حاضر هیچ روش تعیین اندازه بهتری برای کولرها وجود ندارد.

در صورتی که برای کانال نیز مقاومتی متصور است، کولرهای فوق به طور آزمایشی انتخاب شده و خروجی حجمی آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. سپس کانال‌ها بر حسب میزان جریان هوای شسته شده طراحی شده و مقاومت استاتیک آن‌ها محاسبه می‌شود. حال داده‌های عملکردی کولر، از نظر توانایی ارائه خروجی‌های مذکور در برابر مقاومت اصطکاکی استاتیک، بررسی می‌شود. اگر آن‌ها بتوانند این توانایی را داشته باشند، انتخاب می‌شوند. اگر نتوانند ممکن است به، کولرهای بزرگتر، سرعت فن بیشتر، فن بزرگ‌تر یا موتورهای بزرگتر نیاز باشد.

از آنجا که کانال‌های سرمایش مستقیم تقریباً همیشه کوتاه‌تر، ساده‌تر و مستقیم‌تر از کانال‌های گرمایشی و سرمایشی برودتی هستند، لذا طراحی آن‌ها در اینجا ذکر نمی‌شود. برای این منظور، بسیاری از کتاب‌های راهنمای استاندارد و کتاب راهنمای ASHRAE توصیه می‌شود.

برآورد مصرف توان (برق)

وقتی که سازندگان داده‌های ارزیابی مبتنی بر سرمایش و داده‌های EER سرمایش واحد/درجه را پیشنهاد می‌دهند (نه توان لازم را)، مصرف توان (برق) را می‌توان به شرح زیر محاسبه کرد:
الف. ۱۵.

$$\text{وات در ساعت} = \frac{\text{سرمایش واحد بر حسب } Btuh/\text{deg } F}{EER \text{ سرمایش واحد بر } \text{deg } F}$$

ب. ۱۵.

$$\text{وات در ساعت} = \frac{\text{سرمایش واحد بر حسب } kJ/hr/\text{deg } C}{EER \text{ سرمایش واحد بر } \text{deg } C}$$

مسئله تشریحی تعیین اندازه

یک مدرسه کوچک دارای بار حرارت محسوس $90,500 \text{ Btuh}$ ($95,483 \text{ kJ/hr}$) در شرایط طراحی دمای خشک هوای داخلی (dbt) برابر 78 F ($25/6 \text{ C}$) و dbt برابر 95 F (35 C) و wbt برابر 78 F ($25/6 \text{ C}$) برای هوای خارجی است. افت دمای مرطوب طرح $30 \text{ deg } F$ ($16/7 \text{ deg } C$) بوده و به منظور تامین احتیاجات داخلی، بر اساس بار نهان انسانی مورد انتظار، افزایش دمای هوای شسته شده داخلی $7 \text{ deg } F$ ($3/9 \text{ deg } C$) پیشنهاد می‌شود.

هیچ هوای شسته شده‌ای، دو اتاق متوالی را طی نکرده و اتاق‌ها دارای اندازه متوسط است، در نتیجه به خاطر افزایش دما باید جریان هوای زیادی ایجاد شود. نمودار سرمایش مفید نشان می‌دهد که بر اساس این افت دمای مرطوب و افزایش دمای هوای شسته شده، مقدار سرمایش مفید ۲۹ درصد حاصل می‌شود.

اگر برای رفع نیازهای هوارسانی و گردش هوا، سرمایش مفید کولر تنها ۲۹ درصد باشد، خروجی آن باید به صورت نسبی بزرگتر از بار سرمایشی محسوس مورد انتظار مدرسه باشد. بنابراین، ظرفیت سرمایش مورد نیاز کولر باید به مقدار زیر باشد:

الف. ۱۶.

$$\text{بار گرمایی } 90,500 \text{ Btuh} = \frac{312,069 \text{ Btuh}}{\text{سرمایش مفید } 29\%} \text{ خروجی مورد نیاز کولر}$$

یا:

۱۶.ب.

$$\text{بار گرمایی } 95,483 \text{ kJ/hr} = \frac{329,252 \text{ kJ/hr}}{\text{سرمایش مفید } 29\%} \text{ خروجی مورد نیاز کولر}$$

برای تنظیم این خروجی‌های مورد نیاز کولر بر حسب تغییرات افت دمای مرطوب، به طوری که در هنگامی که شرایط دمای مرطوب نسبت به مقدار طراحی تغییر می‌کند نیز کولر انتخابی بتواند به خوبی کار کند، خروجی‌های مورد نیاز بالا، به صورت زیر، بر افت دمای مرطوب طرح 30 deg F (۱۶/۷ C) تقسیم می‌شوند:

الف ۱۷.

$$\text{افت دمای مرطوب } 30 \text{ deg F} = \frac{312,069 \text{ Btuh}}{10,402 \text{ Btuh/deg F}} \text{ خروجی واحد سرمایش}$$

یا

۱۷.ب.

$$\text{افت دمای مرطوب } 16.7 \text{ deg C} = \frac{329,252 \text{ Btuh}}{19,716 \text{ kJ/hr/deg C}} \text{ خروجی واحد سرمایش}$$

در کاتالوگ مفروض یک سازنده، یک کولر آبی فریوآد ۲ hp با نصب روی پشت بام، مقدار سرمایش واحد 940.5 Btuh/deg F (یا $17,861 \text{ kJ/hr/deg C}$) را تحویل می‌دهد. وقتی این کولر در دور rpm ۲۳۹ و جریان آب 1 gpm ($3/8 \text{ l/min}$) تنظیم می‌شود قادر است $11,760 \text{ cfm}$ ($5/6 \text{ m}^3/\text{s}$) را در برابر مقاومت 0.12 w.g. (یا 30 Pa) تحویل دهد. این عملکرد تا حدودی کم است، اما این کولر به دلیل سرعت کم فن و پد بزرگ خود به صورت آزمایشی انتخاب شده است.

با طراحی کانال‌های هوای شسته شده این مدرسه، مقاومت آن‌ها در برابر $11,760 \text{ cfm}$ ($5/6 \text{ m}^3/\text{s}$) که بین اتاق‌ها تقسیم می‌شود محاسبه شده و برابر 0.30 w.g. (یا 75 Pa) به دست می‌آید. کاتالوگ نشان می‌دهد که اگر این کولر در دور rpm ۲۷۳ و جریان آب $1/8 \text{ gpm}$ ($6/8 \text{ l/min}$) تنظیم شود

قادر است تا سرمایش واحد $10,640 \text{ Btuh/deg F}$ یا $20,207 \text{ kJ/hr/deg C}$ و $12,054 \text{ cfm}$ ($3.4 \text{ m}^3/\text{s}$) را در برابر مقاومت 0.33 w.g. (یا 83 Pa) تحویل دهد. این مقدار کمی بیش از ظرفیت مورد نیاز است و سرعت بالاتر فن نباید موجب اضافه بار بیش از حد موتور شود، در نتیجه این کولر برای سرمایش مدرسه قابل قبول است.

مصرف برق سیستم از روی EER سرمایش واحد بر حسب درجه محاسبه می‌شود:

۱۸ الف.

$$\frac{10,640 \text{ Btuh/deg F}}{\text{سرمایش واحد}} = 2.82 \text{ kW/hr}$$

$$\text{سرمایش واحد } EER 3770/\text{deg F}$$

یا

۱۸ ب.

$$\frac{20,207 \text{ Btuh/deg F}}{\text{سرمایش واحد}} = 2.82 \text{ kW/hr}$$

$$\text{سرمایش واحد } EER 7165.5/\text{deg F}$$

کولر حداقل باید در طی آب و هوای طرح، شرایط طراحی هوای داخلی را حفظ کند. در آب و هوای معمولی، بسته به افت دمای مرطوب هوای، بیرون این کولر مدرسه را خنک‌تر از شرایط طرح نگه می‌دارد.

تمام کولرهایی که بر طبق این روش تعیین اندازه می‌شوند باید به خوبی عمل کنند.

پرسش‌های دوره‌ای

۱. چگونه کولرهای آبی به طور سنتی توسط سازندگان آن‌ها ارزیابی می‌شوند؟ آن‌ها باید چگونه باشند؟ چرا بازده اشباع یا سرمایش، معیار ناکافی برای توان سرمایش است؟
۲. آیا کولرهای تبخیری مستقیم باعث کاهش گرمای محسوس یا نهان هوا می‌شوند؟ تفاوت بین این دو را ذکر کنید. آیا دفع یا تبدیلی رخ می‌دهد؟ چرا؟
۳. پس از کاهش گرمای محسوس هوای ورودی توسط وسیله مرطوب‌کننده، چگونه بخشی از آن مجدداً افزوده می‌شود؟ منابع آن چیست؟ نام پیشنهادی برای کاهش خالص گرمای محسوس هوا چیست؟
۴. روش سریع برای تعیین میزان تبدیل گرمای محسوس در یک ساعت توسط یک کولر را توضیح دهید. چرا دقیق‌تر از روش‌های معمول آزمایشگاهی است؟
۵. اگر در هنگام آزمون، سرمایش خالص بر حسب Btuh یا kJ/hr عملکرد کولر را نشان دهد، چگونه آن‌ها برای از بین بردن اختلافات آب و هوایی تنظیم می‌شوند؟ چه شرایط جدیدی ایجاد می‌شود؟ آن‌ها معرف چه هستند؟ چرا آن‌ها اهمیت دارند؟
۶. چگونه شرایط جدید بالا برای انعکاس اقتصاد و مصرف توان (برق) تنظیم بیشتری می‌شوند؟ چه شرایط نهایی ایجاد می‌شود؟ آیا آن‌ها بازده را نشان می‌دهند؟ چگونه می‌توانید آن‌ها را برای تعیین بازده بر حسب درصد تنظیم کنید؟
۷. درجه EER وزارت انرژی برای دستگاه‌های برودتی چیست؟ چگونه محاسبه می‌شود؟ اگر این درجه اقتصاد دستگاه تهویه مطبوع را ارزیابی می‌کند، چگونه می‌توانید آن را برای تعیین بازده بر حسب درصد تنظیم کنید؟
۸. چگونه EER تبخیری محاسبه می‌شود؟ اگر EER بازده کولر را در تبدیل هوای خارج به هوای شسته شده اندازه‌گیری کند، آیا می‌تواند بازده کولر را در سرمایش یک اتاق یا ساختمان اندازه‌گیری کند؟ چرا؟
۹. در قالب صفحه کاتالوگ پیشنهادی چه چیزی کولرها را دقیقاً ارزیابی می‌کند:
الف - cfm خروجی/ارزیابی شده بر چه اساسی مبتنی است و برای کدام کاربرد مورد نظر است؟

ب- چگونه مهندسان و پیمانکاران از ظرفیت سرمایش هوای خنک‌کننده بر حسب kJ/hr برای انتخاب کولر در یک مکان و بار سرمایشی معین استفاده می‌کنند؟

پ- چگونه آن‌ها برای تعیین مصرف برق ساعتی از EER سرمایش هوا به طریق تبخیری بر حسب هر درجه سلسیوس استفاده می‌کنند؟

ت- کدام ستون نشان‌دهنده بازده یک کولر است؟

۱۰. چه کسی می‌تواند از جریان خروجی آزاد ارزیابی شده برای تعیین اندازه کولرها استفاده کرده و چه انواعی از آن استفاده می‌شود؟ در چه موقعی باید از داده‌های خروجی ارزیابی شده استفاده کرد، کاربرد هوارسانی یا سرمایشی؟ شرح دهید. در چه موقعی باید از داده‌های ظرفیت سرمایش هوای واحد استفاده کرد؟ چرا؟

۱۱. در استفاده از این صفحه کاتالوگ داده‌ها، چه چیزی ممکن است در افت دمای مرطوب ضرب شود؟ در نتیجه چه داده‌هایی به دست می‌دهد؟ اهمیت آن را برای خریداران احتمالی توضیح دهید. مصرف برق ساعتی چگونه محاسبه می‌شود؟

۱۲. مقدار EER حداکثر دستگاه کولر مستقیم یا EER سرمایش هوا را با EER برودتی مقایسه کنید. چرا EER اول خیلی بیشتر است؟ اگر سرمایش برودتی ۵ تا ۱۵ درصد از قابلیت سرمایش اتاق یا ساختمان خود را از دست بدهد، مقدار متقابل این افت برای کولرهای تبخیری مستقیم چقدر می‌باشد؟ چرا این افت ضروری است؟

۱۳. بسیاری از اثرات آسایش سرمایش تبخیری مستقیم به علت گردش هوای اتاق و هوای شسته شده بر روی پوست انسان است. شرح دهید:

الف- چه عامل سلب آسایشی با آن مقابله می‌کند؟

ب- حداقل سرعت میانگین عملیاتی هوای اتاق برای افرادی که فعالیت غیرمتحرک دارند چیست؟

پ- چرا سرعت هوای اتاق بالاتری توصیه می‌شود؟

۱۴. نمودار سرمایش مفید، درصد قابلیت سرمایش اتاق به صورت محسوس و مفید را در هر دریچه خروجی کولر مستقیم، در محدوده رطوبت فضای باز خارجی و شرایط آسایش داخلی نشان می‌دهد. موارد زیر را تعریف کنید:

الف- افزایش (دریافت) دمای هوای شسته شده در اتاق‌ها

ب- افت دمای مرطوب هوای ورودی کولر

پ- منطقه دارای کوران

ت- منطقه سرمایش غیریکنواخت

ث- منطقه کارکردی (عملیاتی) توصیه شده

۱۵. در نمودار سرمایش مفید:

الف- درصد معرف چیست؟

ب- سرعت هوای اتاق معرف چیست؟

پ- خط پله‌ای پر رنگ فوقانی معرف چیست؟ سمت راست-پایین معرف چیست؟

ت- برای دفع آلاینده‌هایی نظیر بخار، دود، بو و غیره کدام منطقه بهتر است؟

۱۶. در منطقه کارکردی (عملیاتی) توصیه شده:

الف- چه افزایش دمای هوای شسته شده‌ای در اتاق‌ها باعث می‌شود در اندازه فن و کانال صرفه‌جویی شود؟

ب- کدام یک در آشپزخانه آسایش ایجاد می‌کند؟

پ- کدام یک موجب تخلیه بیشتر قابلیت سرمایش کولر به بیرون به صورت استفاده نشده می‌شود؟

ت- کدام یک بهترین افزایش دمای میانگین هوای شسته شده‌ای را فرض می‌کند؟

۱۷. موارد زیر در کجای منطقه کارکردی (عملیاتی) توصیه شده یافت می‌شوند:

الف- شرایط دارای بیشترین آسایش؟

ب- سرمایش دارای کم‌ترین " آسایش بخشی " ؟

پ-شرایطی که برای اتاق‌های کوچک‌تر مناسب است؟

ت- شرایط مناسب برای اتاق‌های بزرگ، دو اتاق پشت سر هم یا اتاق طولی، حرکت هوای شسته شده داخلی؟

۱۸. در کجای نمودار سرمایش مفید موارد زیر یافت می‌شود؟

الف- شرایط تشویق استفاده از دیفیوزرهای سقفی یا سایر دریچه‌های خروجی " بدون کوران "

ب- شرایط تشویق استفاده از دریچه‌های دیواری جانبی بالا یا کولرهای با نصب پنجره‌ای؟

۱۹. EER سرمایش اتاق چیست؟ چرا از EER سرمایش هوا کوچک‌تر است؟ چگونه این EER

می‌تواند شکاف بین EER های تبخیری و برودتی و در نتیجه مصرف توان را از بین ببرد؟ در مورد اتلافی که موجب هدر رفتن سرمایش در هوای تغذیه برودتی می‌شود توضیح دهید. آیا این تلفات بیشتر به عایق وابسته‌اند تا درزبندی یا نیازهای هوارسانی؟ توضیح دهید.

۲۰. EERrc را از روی EER برابر ۹ و اتلاف ۱۳ درصد محاسبه کنید. آیا این حالت بیشتر از

طریق سرمایش برودتی احتمال دارد یا سرمایش تبخیری؟ توضیح دهید. EERrc را از روی EER برابر ۱۱۰ و اتلاف ۵۲ درصد محاسبه کنید. با استفاده از حالت دوم، میزان صرفه-جویی احتمالی در مصرف برق را محاسبه کنید.

۲۱. توضیح دهید که چگونه یک کولر برای تغذیه سه مرتبه "تعویض هوا" در ساعت به یک اتاق

بزرگ انتخاب می‌شود؟ ضعف روش تعویض هوا چیست؟

۲۲. در حالات زیر چه کاستی‌هایی در تعیین اندازه کولر وجود دارد:

الف- افت دمای مرطوب طرح محلی؟

ب- نقشه‌های مناطق افت دمای مرطوب؟

پ- نقشه‌های فوق به همراه تنظیمات بارهای گرمایی داخلی و خارجی ساختمان؟

۲۳. ضعف‌های محاسبات سنتی مهندسی برای تعیین اندازه کولر چیست؟ اگر کولر قبل از طراحی کانال انتخاب شود چه خطاهایی ممکن است رخ دهد؟ آیا تنظیمات سرعت فن می‌تواند کمک کند؟

۲۴. با فرض این که کاتالوگ‌های مناسبی توسط سازندگان توسعه یافته‌است، چه مزایایی با استفاده از روش پیشنهادی نمودار سرمایه‌ش مفید برای تعیین اندازه کولر می‌توان ارائه داد؟ ضعف آن چیست؟

فصل ۱۸

نصب کولر تبخیری مستقیم

علاوه بر انتخاب و تعیین ظرفیت کولر، عوامل مهم دیگری از جمله مکان کولر، طراحی کانال، اتصال به سیستم‌های گرمایشی یا سرمایشی دیگر، توزیع هوای شسته شده در اتاق‌ها، تهویه خروجی هوای شسته شده، استفاده در تهویه فضای زیر شیروانی و عایق و کنترل‌ها نیز حائز اهمیت هستند.

مکان کولر

صرف‌نظر از نوع، بهترین مکان نصب تمام کولرهای تبخیری در سایه و در اطراف ساختمان‌هایی است که در تابستان در راستای جریان باد هستند. تمامی کولرها یا خطوط تامین آب آن‌ها که در معرض گرمای آفتاب هستند، بدون استفاده از هوای خنک‌کننده، قادر به تبخیر آب هستند. این امر باعث افزایش رطوبت هوای شسته شده و کاهش آسایش حاصل می‌گردد.

به طور مشابه، کولرهای نصب شده رو به جهت باد، هوای خشک تازه دریافت می‌نمایند و نمی‌توانند هوای شسته شده خود را، پس از خروج، به داخل کشیده و مجدداً به گردش درآورند، به جز در برخی موارد خاص که در آن‌ها تنها خروجی نیز رو به باد قرار دارد؛ که حتی پس از آن، گردابه‌های رو به باد گردش مجدد را کاهش خواهند داد. مکان‌های رو به باد نیز از طریق تسهیل نفوذ هوا به بیرون و خروج هوای شسته شده از سمت بادپناه، گذر جریان از اتاق‌ها را آسان می‌نمایند. به طور عادی، از مکان‌های نزدیک به منابع بخار آب، دود، بخارات، گرد و غبار و هوای شسته شده استفاده شده باید اجتناب گردد.

در ساختمان‌های تجاری و صنعتی، اغلب کولرها باید بر روی بام و معمولا در هوای آزاد و گاهی در اتاقک نصب گردند. گزینه‌های اصلی زیاد نمی‌باشند. البته، اماکن مسکونی مکان‌های زیادی را برای نصب در اختیار قرار می‌دهند. اغلب کولرهای ساختمان‌های مسکونی کماکان در پنجره‌ها نصب می‌شوند اما سیستم‌های سرمایش مرکزی داخلی بسیار بهتر هستند و هر سال به محبوبیت آن‌ها افزوده می‌شود. این سیستم‌ها امکان نصب کولر در چندین مکان را فراهم می‌نمایند.

کولرهای خانگی

در کولرهای تبخیری ساختمان‌های مسکونی لزومی به عدم رعایت ظاهر برای دستیابی به بازده وجود ندارد (به شکل ۱ این فصل مراجعه کنید). بیست سال پیش، بسیاری از کولرهای فروباد زیبا، که غالبا ۶ وجهی بودند، بر روی بام ساختمان‌های مسکونی نصب می‌شدند که به صورت گنبد‌های دارای کلاهک‌های تزئینی و بادنما تغییر شکل می‌دادند. خانه‌های ویلایی با بام شیب‌دار (شیروانی)^۱ طویل، برای حفظ تعادل معماری، غالبا دارای دو کولر از نوع فوق بودند. رنگ سفید بازتابنده، به جبران کمبود سایه کمک می‌کرد. در زمان نصب بر روی لبه فوقانی این بام‌های شیب‌دار، این کولرها اغلب به اندازه کافی مرتفع بوده، تا هیچ یا تنها مقدار کمی از هوای مافوق گرم برخاسته از بام در معرض خورشید را به درون خود بکشند.

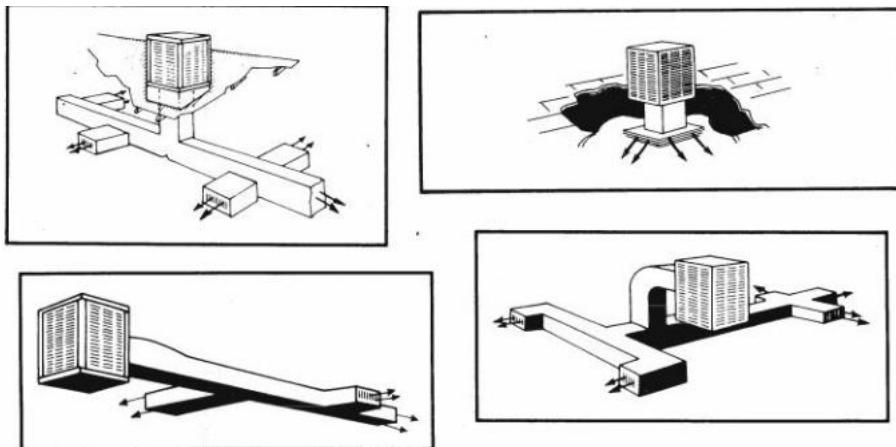
این گونه کولرها، کانال‌های افقی واقع در فضای زیر شیروانی را تغذیه کرده و سرمایش بسیار خوبی را فراهم می‌نمودند. در سال ۱۹۵۳ مولف این کتاب یک عدد از این کولرها را نصب نمود. پس از گذشت مدت زمان طولانی از عدم کارکرد آن، مالک ساختمان آن را به عنوان یک اثر معماری حفظ نمود.

مکان‌های فروباد بالای بام، همچنان متداول و کارآمد باقی ماندند، اما امروزه در ساختمان‌های مسکونی، صرفا سودمندی مکان نصب مطرح است. در جنوب غرب ایالات متحده، عادات موجود، به صاحبان خانه کمک کرده تا بیرون‌زدگی‌های جعبه مانند روی بام را بپذیرند در حالی که در برخی مکان‌های دیگر در برابر آن مقاومت می‌شود. البته، منازل مسکونی بسیاری از این امر خودداری می‌نمایند: فروش تعداد زیادی از سیستم‌های سرمایش هوای برودت،^۱ در قلمروی سرمایش تبخیری می‌تواند بازتاب وجود تمایل نسبت به زیبایی علاوه بر آسایش باشد.

در حال حاضر تعدادی از سازندگان، کولرهای کوتاه و باریکی را می‌سازند که با خطوط بام ساختمان - های نوین سازگارتر هستند. فروش در قلمروهای جدید می‌تواند نتیجه خوبی داشته باشد. برخی

صاحبان خانه دارای بام‌های شیب‌داری که در موازات خیابان‌های قرار دارند، کولرهای بامی خود را بر روی شیب پشتی خانه پنهان می‌نمایند. این کولرها از نوع کولرهای تخلیه جانبی مرسوم هستند که در ارتفاع پایین نصب می‌شوند تا کانال‌های خروجی افقی دقیقاً در بالای سطح سقف وارد شده و از طریق سهرامی به کانال‌های اصلی افقی متصل می‌شوند. این امر، مزیت وجود چهار پد در کولرهای آبی فروباد را از بین برده، باعث ایجاد مشکلاتی بر روی بام شده و سطح زیادی از کانال را در معرض هوای بیرون و گرمای آفتاب قرار می‌دهد، اما نمای جلویی را حفظ می‌نماید.

مکان‌های جناقی (دیوار سه گوشه منتهی الیه زیر شیروانی)، در انتهای ساختمان باید بیشتر مورد توجه قرار گیرند. بنابراین، کولرهای با تخلیه افقی، نصب شده در نزدیکی دیوارهای سمت جناقی، هوا را به طور مستقیم و بدون افت فشار به کانال‌های اصلی مرکزی می‌دمند، که معمولاً در امتداد طول فضای زیر شیروانی می‌باشند. هنگامی که بام‌ها کم شیب هستند، کولرهای آویزان خاص دارای دهانه خروجی مرتفع توصیه می‌گردند. این گونه نصب‌ها نیمه پنهان هستند و اغلب سایه بر روی آن‌ها ایجاد می‌شود. جناقی‌های رو به شرق یا غرب (در صورت وجود) ترجیح داشته تا عملاً کولرها در کل روز تحت سایه باشند.



شکل ۱- مکان‌های بالا سری کولر مستقیم در ساختمان‌های مسکونی، با فرض کولرهای آبی، که می‌تواند به انواع دیگر هم مربوط باشد. در قسمت بالا - سمت چپ، یک سیستم کانال‌کشی کوچک احتمالاً بهینه با کانال‌ها و دهانه‌های خروجی در زیر یک سقف فرضی نشان داده شده است. این کولر دارای چهار پد (و نه سه پد)، حداقل سطح در معرض گرمای خورشید و گرمای فضای زیرشیروانی، کانال‌های انشعابی فوق‌العاده ساده و یک تغییر جهت کانال اصلی برای ایجاد فشار استاتیک و تلفات توان است. یک عیب آن، کوران احتمالی از طریق دریچه‌های دیواری سمت مرتفع است. در شکل بالا - سمت راست، یک توزیع هوای شسته شده بدون کانال را برای اتاق‌های بزرگ نشان می‌دهد. کانال عمودی مستقیم زیرین، کل فشار استاتیک را به دیفیوزر پایینی وارد می‌سازد که آسایش حداکثری و بدون کورانی از حجم هوای دریافتی را ایجاد می‌نماید. هدف هر دو شیوه نصب، افزایش طول عمر پد و بازده سرمایه‌اش و به حداقل رساندن هزینه‌های برق

است. شکل پایین-سمت چپ، کولرهای با دهانه خروجی کناری نصب شده بر جناقی‌های (دیوارهای سه گوشه منتهی الیه شیروانی) خانه را نشان می‌دهد که به طور مستقیم هوا را به کانال‌های اصلی یا فضاهای گسترده درون سقف (پلنوم) یا در فضاهای زیر شیروانی یا زیر سقف سالن ارسال می‌نماید. این کار موجب صرفه‌جویی در هزینه ورق کاری و به علاوه حداقل سازی اتلافات فشار استاتیکی و مصرف برق می‌شود. شکل پایین-سمت راست یک طرح کم دقت تر را نشان می‌دهد. این طرح نیازمند یک زانوئی بزرگ است که در معرض آفتاب قرار داشته و دارای معایب تلفات فشار استاتیکی و هزینه‌های برق مربوط به خاطر دو تغییر جهت ایجاد شده در کانال اصلی است که در عین حال موجب تشویق به ایجاد کوران در داخل نیز می‌شود.

برخی کولرها در بالا و در زیر پیش‌آمدگی (قرنیز) لبه پشت بام^۱ و در سمت پشتی خانه نصب می‌گردند و به جای فضای زیر شیروانی، کانال‌ها در زیر سقف قرار می‌گیرند. کولرها از طریق کانال‌های عرضی کوتاه بالاسری واقع در در انباری‌های درون اتاق^۲ می‌دمند تا کانال‌های توزیع‌کننده طولانی را تغذیه کرده که توسط سقف کاذب سالن پنهان شده‌است یا این که به جای آن از فضاهای درون سقفی (پلنوم^۳) به صورت بدون کانال استفاده می‌شود. در هر دو صورت، جهت سرویس آسان، کولرها تا حد کافی پایین نصب می‌گردند و جریان به دور از گرمای فضای زیر شیروانی نگه داشته شده ولی ارتفاع سقف سالن فدا می‌شود. برای این حالت، کولرهای آبی آویزان بهترین گزینه هستند. (به شکل ۲ این فصل مراجعه کنید).

هزینه کم، علیرغم معایب بسیار، پنجره‌ها را به مکانی متداول تبدیل می‌نمایند. در این صورت نه تنها این روش از سیستم‌های مرکزی پر سر و صداتر هستند بلکه نیازمند برق، آب و اتصالات تخلیه آب جداگانه‌ای هستند. با استفاده از کولرهای آویزان، اتلاف سطح پنجره و نمای خارجی در کمترین میزان قرار می‌گیرد. آن‌ها در زیر خط دید آویزان می‌شوند و تا حد زیادی توسط بوته‌ها پنهان گشته و تنها ۸ تا ۱۰ اینچ (۲۰ تا ۲۵ سانتیمتر) از پایین پنجره را استفاده می‌نمایند.

نصب در پنجره‌های کشویی دو تکه (گیوتینی)^۴ و پنجره‌های کشویی عمودی^۵ آسان است. در پنجره‌های اُرسی لولادار یا بیرون زده، کولرها اغلب در خارج از پنجره‌ها نصب می‌گردند و از طریق کانال‌های کوتاهی که از طریق دهانه‌های ایجاد شده در اثر بریدن (یا برداشتن) شیشه ثابت ایجاد می‌شوند، به اُرسی وارد می‌شوند. این مکان‌ها باعث تحویل هوای کولر در بخش بالایی اتاق گشته و می‌توان این پنجره‌ها را در فصولی که کولر خاموش است باز نمود. (به شکل ۳ این فصل مراجعه کنید).

1- Eaves

2- Closet

3- Plenum: فضای محصور

4- Double hung window: پنجره‌های دو تکه‌ای که یک تکه آن بر روی دیگری واقع است (مترجم)

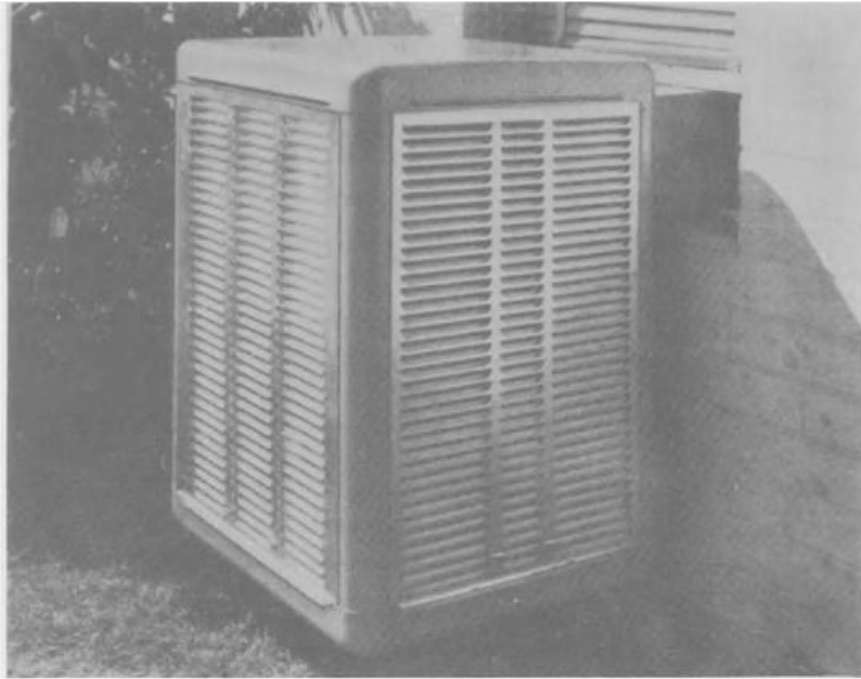
5- Vertically sliding window

مکان هر جا باشد، بهترین کار این است که لوله تامین یا تخلیه آب را پوشاند. محافظت لوله تامین آب از گرمای آفتاب مهم است، درحالی که استفاده از آب دور ریز در مخازن دستشویی‌ها، حمام‌ها یا برای آبیاری چمنزار اقتصادی بوده و از بروز مشکلات دیگر نیز جلوگیری می‌نماید.

همچنین لازم است که از امکان دسترسی برای سرویس نیز اطمینان حاصل گردد. این موضوع برای همه انواع کولرها ضروری است اما کولرهای آبی از عدم در نظرگیری این مسئله بیشتر رنج می‌برند. البته، کولرهای آبی-پرتابی، با پد افشانه‌ای یا کولرهای دواری که از فیلترهای گرد و غبار یا افزودنی‌های شیمیایی استفاده می‌نمایند، نیازمند بازرسی مرتب هستند در نتیجه ایجاد فضای دسترسی الزامی است. کولرهای دوار و آبی-پرتابی نیازمند فضای جانبی کافی هستند تا در صورت نیاز امکان تعویض موتورها یا چرخ‌های فن وجود داشته باشد.



شکل ۲- این کولر نصب شده در زیر پیش‌آمدگی لبه بام، یک کانال مرکزی در زیر سقف سالن را تغذیه می‌نماید. این طرح در جایی مفید است که ممکن است نصب کولر بر بالای بام و جناقی (دیوار سه گوشه منتهی الیه زیر شیروانی) مزاحم باشد. این چیدمان کمک می‌نماید تا به منظور تسهیل در سرویس، کولرها در پشت خانه و در ارتفاع به اندازه کافی پایین قرار گیرند. کانال‌های زیر سقف، برای اتصال به دریچه‌های خروجی، کم هزینه‌تر از کانال‌های درون فضای زیر شیروانی بوده، نیاز به عایق نداشته و هیچ گرمایی از فضای زیر شیروانی دریافت نمی‌نمایند اما در جایی که کانال‌های خروجی کولر به کانال‌های طولی متصل می‌گردند، به سه‌راهی‌های بزرگ با تیغه‌های جهت‌دهنده^۱ نیاز دارند.



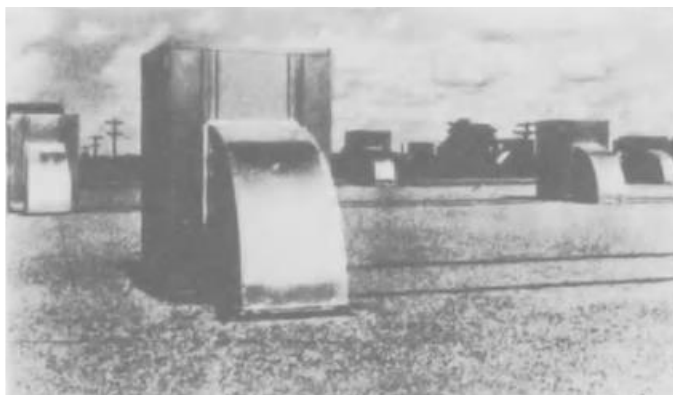
شکل ۳- این کولر آویزان در ارتفاع پایین، مساحت کمی از پنجره را می‌پوشاند. در نتیجه عریض، کم عمق و مرتفع برای پنجره‌های ساختمان‌های مسکونی ترجیح دارد. این گونه کولرها، بر روی کف زمین، به راحتی توسط بوته‌ها پوشانده شده و در معرض سایه قرار می‌گیرند. همچنین این کولرها در جناقی‌های کم عمق خانه به خوبی قابل استفاده هستند تا کانال‌های اصلی فضای زیر شیروانی را تغذیه کنند.

ساختمان‌های تجاری

کولرهای فروباد باید تقریباً در تمام ساختمان‌های صنعتی و تجاری با بام تخت یا شیب‌دار به صورت استاندارد موجود باشند. مکان‌های با بام تخت، عملیات نگهداری و تعمیرات را به شدت تسهیل می‌نمایند و طراحی فروباد در تمام انواع کولرها موجب کاهش هزینه‌ها، مقاومت جریان و دریافت گرمای خورشیدی از زانویی‌ها می‌شود. تنها در کولرهای آبی، خروجی رو به پایین باعث افزایش مساحت پد به میزان یک سوم و همچنین خروجی بیشتر یا سرعت‌های ورودی کم‌تر به همراه دماهای پایین‌تر هوای شسته شده گشته و تعویض پوشال را به تعویق می‌اندازد.

هشدار: بسیاری از پیمانکاران، به منظور گرفتن سفارش ساخت زانویی‌های تقریباً مربعی بزرگی که هوای خروجی را به سمت پایین می‌رانند، استفاده از کولرهای با تخلیه افقی را برای نصب بر روی بام‌های تخت تشویق می‌کنند. این کار علاوه بر هزینه زیاد، باعث ایجاد ائتلاف نیز می‌شود.

تقریباً در تمامی کولرهای تبخیری، دریچه‌های خروجی افقی نسبت به بالای بام بسیار پایین هستند تا بتوانند زانویی‌های کم مقاومت در برابر جریانی را بپذیرند که دارای شعاع مناسب هستند. بنابراین، در بسیاری از موارد از زانویی‌های دارای حداقل شعاع با گوشه‌های داخلی ۹۰ درجه یا حتی زانویی‌های جعبه‌ای ۹۰ درجه بدون تیغه‌های جهت‌دهنده استفاده می‌گردد. برای سرعت‌های خروجی کولر در بازه ۱۲۰۰ تا ۲۲۰۰ فوت در دقیقه (۶/۱ تا ۱۱/۲ متر بر ثانیه)، نوع قبلی متحمل افت فشار استاتیک در بازه ۰/۱ تا ۰/۴ اینچ آب (۲۵ تا ۱۰۰ پاسکال) می‌شود. آن‌ها میزان هوادهی در کولرهای مزبور را ۵ تا ۲۰ درصد کاهش می‌دهند که این میزان در کولرهای کوچک‌تر بیشتر و در کولرهای بزرگ‌تر کمتر است. زانویی‌های ۴۵ درجه ساده بسیار بدتر هستند. (به شکل ۴ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۴- بر روی بام‌های تخت، کولرهای با خروجی جانبی می‌توانند هزینه‌های اولیه و عملکردی را تلف کنند. کولرهای با جریان رو به پایین (فروباد) راحت‌تر و با نشت‌بندی کمتری نصب شده و نیاز به هیچ هزینه اضافی ندارند، غالباً دارای زانوهای خروجی سفارشی هستند تا هوای شسته شده را به سمت پایین منحرف کنند. آن‌ها نه تنها موجب مقاومت جریان هوا و انحراف جریان به کانال‌های ارتباطی می‌شوند بلکه گرمای خارجی و خورشیدی بیشتری را نیز جذب می‌کنند. البته، کولرهای با خروجی جانبی بر روی بام‌های دارای شیب تند نیز به خوبی عمل می‌نمایند، که در این حالت خروجی آن‌ها به راحتی وارد کانال‌های مرکزی واقع در فضای زیر شیروانی می‌گردد. کولرهای آبی فروباد به جای سه پد از چهار پد استفاده می‌نمایند که این امر موجب افزایش نرخ جریان حجمی خروجی یا بازده سرمایش و طول عمر پد می‌شود.

به غیر از جذب حرارت غیر ضروری خورشیدی و خارجی، در اینجا اغلب زانویی‌ها جریان ورودی به کانال‌ها را به سمت پایین منحرف کرده و توازن جریان در دریچه‌های خروجی را دشوار می‌نمایند. بنابراین، قیمت‌های کمی بالاتر کولرهای فروباد ارزش پرداخت را دارند.

مکان‌های موجود بر روی بام لزوماً دارای سایه نیستند بنابراین رنگ‌آمیزی کولرها به رنگ سفید بازتابنده یا نقره‌ای معقول به نظر می‌رسد. قرار دادن سمت ورودی هوای کولرهای آبی-پرتابی، با پد افشانه‌ای، دوار، با ماده واسط صلب و هواسازها در معرض باد تابستانی باعث افزایش خروجی می‌گردد،

هرچند مرسوم است که کولرها به موازاتی خطوط بام نصب گردند. رنگ آمیزی خطوط آب به رنگ نقره‌ای یا عایق‌سازی آن‌ها نسبت به بام با دمای اغلب ۱۸۰ درجه فارنهایت (۸۲ درجه سانتیگراد) پیشنهاد می‌گردد. به نظر می‌رسد بهتر است آن‌ها در فضای زیر شیروانی قرار بگیرند.

متأسفانه ممکن است در روزهای بی‌باد تابستان، بر روی بام‌های تخت، دمای هوا تا ۱۳۵ فارنهایت (۵۷ درجه سانتیگراد) برسد که منجر به افزایش جدی دمای هوای ورودی به کولرها می‌گردد. به دلیل اینکه بام‌های بازتابنده نسبت به بام‌های معمولی هوای بسیار خنک‌تری بر روی خود دارند، بام سفید یا نقره‌ای رنگ به خنک‌کاری کمک می‌نماید و در عین حال موجب کاهش دریافت حرارت خورشید از طریق سقف‌ها شده و عمر بام را افزایش می‌دهد.

برای دستیابی به هوای آزاد خنک‌تر، در برخی ساختمان‌های دارای بام تخت کوچک، کولرها (معمولاً آبی) را خارج از لبه‌های رو به باد بام‌ها نصب می‌نمایند تا کولرها هوا را از بین تیرچه‌های عرضی سقف به درون کانال بدمند. این کانال‌ها هوای شسته شده را به یک یا چند دیفیوزر سقفی تغذیه می‌کنند، که بر حسب نیاز، در امتداد کانال به صورت هم فاصله قرار دارند. تعمیر و نگهداری ضرورتاً باید با استفاده از نردبان انجام شود، اما بر طبق گزارش، به دلیل انعطاف‌پذیری عالی در مکان‌یابی دیفیوزرها، سرمایه‌ش تا حدی بهتر است.

بسیاری از ساختمان‌های صنعتی، از جمله کارخانه‌های نساجی و خشکشویی‌ها، کولرها را در پنجره‌های رو به باد نصب می‌کنند. این امر باعث ورود هوای خنک‌تری نسبت به حالت نصب بر روی بام گشته و کانال‌ها را حذف می‌نماید. هرچند، بدین ترتیب روشنایی طبیعی از بین رفته و تعمیر و نگهداری پر هزینه خواهد بود.

در بام اماکن تجاری، از آنجا که برای نصب کانال‌های افقی، کمتر ساختمان دارای بام تختی دارای فضایی مشابه فضای زیر شیروانی است، معمولاً از ردیف‌هایی از کولرهای جداگانه با ظرفیت متوسط به جای استفاده از چند کولر بزرگتر استفاده می‌نمایند تا بدین وسیله در هزینه کانال‌کشی صرفه‌جویی نمایند. بنابراین در آن جا معمولاً چند کولر فروباد، با فاصله از یکدیگر قرار می‌گیرند. بدین ترتیب این کولرها هوا را از طریق کانال‌های عمودی کوتاه به سمت پایین و به دیفیوزرهای انشعابی سقفی می‌دمند تا هوا را به صورت افقی و شعاعی در اتاق‌های زیرین خود توزیع کنند. به دلیل اینکه جریان جانبی از مجراهای واگرا محدود می‌باشد، خنک‌کاری اتاق‌های جدا یا حتی یک اتاق واحد بزرگتر، غالباً نیازمند دیفیوزرها و کولرهای جداگانه زیادی است.

بنابراین ساختمان‌های صنعتی بزرگ، غالباً دارای دو یا حتی پنج ردیف طولانی هم فاصله از کولرهای سقفی آبی، پرتابی، با پد افشانه‌ای یا انواع دیگر کولرها هستند. در صورت وجود مشکلات تهویه در

زمستان، برخی کولرها می‌توانند به عنوان واحدهای هوای جبرانی باشند. در غیر این صورت، گرمایش از طریق یونیت هیترهای زیرین صورت می‌گیرد.

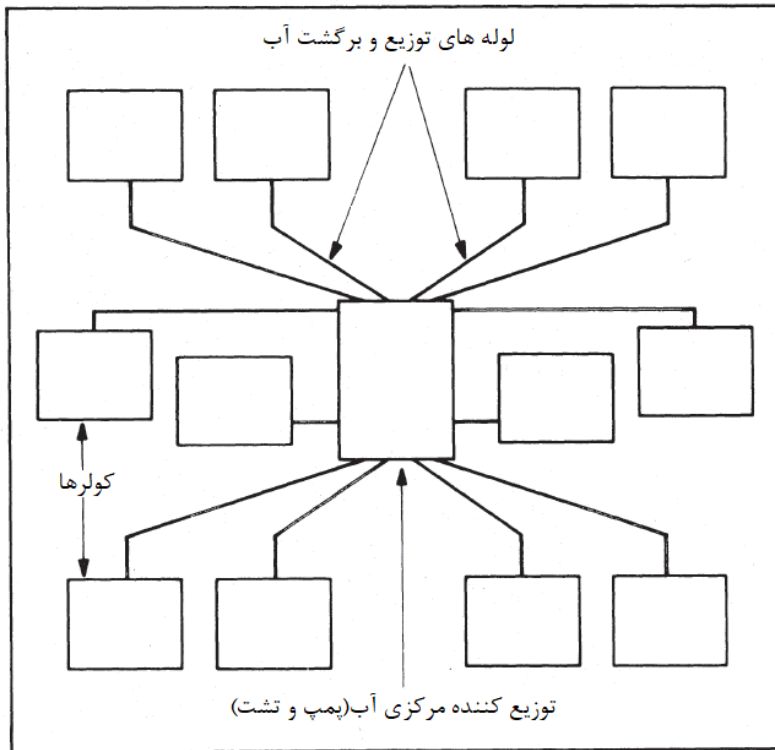
برخی ساختمان‌های دارای چند کولر آبی یا کولر با پد افشانه‌ای به جز کولر آبی-پرتابی، دارای حوضچه‌ها و پمپ‌های آب مرکزی هستند که معمولاً کمی پایین‌تر هستند. یک مجموعه از لوله‌ها آب را انتقال می‌دهد، مجموعه دیگر آب خروجی را از پدها برمی‌گرداند. متمرکز سازی، موجب صرفه‌جویی در توان پمپاژ شده، خوردگی تشت و نیاز به تمیزکاری پد را کاهش می‌دهد، جریان دور ریز و تخلیه در زمستان را آسان می‌سازد، افزودن مواد شیمیایی تصفیه آب و از بین برنده جلبک‌ها را تسهیل می‌نماید و برای کاهش انسداد و ایجاد رسوب پوسته‌ای، نسبت‌های آب به هوا را در پدها افزایش می‌دهد. البته، لوله‌های آب هر دو مسیر، باید از گرمای خورشید و دیگر منابع حفظ شوند. در ورودی‌های لوله برگشت، برای جلوگیری از انسداد ناشی از لجن و تکه‌های پد باید صافی‌هایی نصب گردند (به شکل ۵ این فصل مراجعه کنید).

ممکن است کولرهای آبی و آبی-پرتابی به زوایای کوچک شیب حساس باشند. بنابراین، باید زحمت زیادی کشید تا نصب به صورت تراز صورت گیرد و به مرور زمان نشست نکند. در بسیاری از ساختمان‌های دارای بام تخت، بام را کمی شیب‌دار می‌سازند تا آب باران بهتر جریان یابد بنابراین قرار دادن ورقه‌های لایه ترازکننده معمولاً تا حدودی ضروری است.

طراحی کانال

به دلیل این که اغلب کولرهای تبخیری از هر نوع در بیرون از ساختمان نصب می‌گردند و به کانال‌های هوای برگشتی نیازی ندارند، کانال‌کشی آنها معمولاً آسان‌تر از سرمایش برودتی است. اغلب این کانال‌ها طویل و افقی با مجاری انشعابی کوتاه هستند که به صورت طولی در فضای زیر شیروانی یا بالای سقف کاذب قرار می‌گیرند. بهترین نوع از این کانال‌ها، کانال‌های تنه‌ای^۱ هستند که سطح مقطع آنها پس از هر خروج هر انشعاب از آنها کاهش می‌یابد. نمونه دیگر کانال‌های درون سقفی گسترده^۲ هستند که علیرغم وجود انشعابات و خروجی‌ها، سطح مقطع آنها از ابتدا تا انتها ثابت می‌ماند.

1- Trunk duct
2- Extended plenum



شکل ۵- چند کولر با تشت (حوضچه) و پمپ‌های آب متصل. در اینجا ۱۲ کولر آبی روی بام، به یک حوضچه مرکزی در ارتفاع پایین‌تر تخلیه می‌شود که به یک شیر شناور، شیر دور ریز، پمپ گردش دهنده و تغذیه‌کننده شیمیایی احتمالی مجهز است. این امر خوردگی و لجن‌گرفتنی تشت را کاهش داده، تمیزکاری و تعمیر کولر را تسهیل نموده و (با استفاده از لوله‌کشی و حوضچه داخلی) دمای آب ورودی به کولرها و خطرات انجماد در زمستان را کاهش می‌دهد. پمپ‌های بزرگتر مورد استفاده، دارای طول عمر بسیار بیشتری نسبت به اغلب پمپ‌های کوچکتر هستند. این سیستم همچنین در کولرهای با پد افشانه‌ای و با ماده واسط صلب نیز به کار می‌رود. برای جلوگیری از ورود آشغال، هر لوله تخلیه تکی کولر، نیازمند صافی ورودی است.

فضاهای درون سقفی گسترده شده، نسبت به کانال‌های تنه‌ای پهن‌تر بوده ولی به دلیل سطح مقطع یکنواخت ارزان‌تر بوده و نیازمند طراحی کمی هستند. برای توزیع هوا به بهترین صورت ممکن، کولرها باید هوا را به طور مستقیم از یک سر بدمند تا کمترین تلاطم به وجود آید. در این حالت اگر چه از لحاظ تئوری فشار هوای یکسانی به هر یک از شاخه‌ها تحویل می‌شود ولی برای اطمینان از جریان کامل و قابل هدایت، خروجی‌های انشعابات آن‌ها غالباً نیازمند منحرف‌کننده‌هایی هستند که به سمت داخل امتداد دارند.

به منظور عملکرد بهتر، جریان هوای شسته شده، نیازمند کانالی با سطح مقطع بسیار بزرگتر از کانال به کار رفته برای کاربردهای گرمایشی یا سرمایش برودتی است و سرعت‌ها نیز معمولاً بیشتر هستند. هیچ کانال موجودی نباید در سیستم‌های سرمایش تبخیری به کار رود مگر آن که اندازه آن بررسی گردد. ممکن است برخی کانال‌های قدیمی هوای گرم از نوع ثقلی به کار آیند، اما تعداد کمی از کانال‌های جدید هوای گرم اجباری یا سرمایش برودتی برای سرمایش تبخیری مناسب هستند، زیرا میزان جریان ۲ تا ۴ برابر بیشتر است.

همه کانال‌ها در فضاهای زیر شیروانی، فضای سرد نشده، یا فضای خارجی باید حداقل با استفاده از ۱ اینچ (۲/۵ سانتیمتر) عایق کانال از جنس الیاف شیشه عایق شوند که ترجیحاً با کاغذ (فویل) آلومینیوم به عنوان مانع تابش (تشنش) پوشانده شده و بدون نشت‌بند بخار هستند. به ویژه این فویل در فضاهای زیر شیروانی حائز اهمیت است، زیرا در آنجا دریافت حرارت تابشی از انواع رسانشی و همرفتی بسیار بیشتر است.

کانال‌ها در فضاهای خنک شده نیازی به عایق ندارند، مگر در جاهایی همانند آشپزخانه‌ها، خشک‌شویی‌ها، حمام‌ها و ... که در معرض رطوبت‌های بسیار بالایی قرار داشته و ممکن است منجر به چکه کردن چگالشی شود. در این حالت، عایق نفوذ ناپذیر به عایق الیافی دارای لایه بیرونی مقاوم در برابر بخار ترجیح داده می‌شود.

در طی طراحی کانال نکات زیر حائز اهمیت هستند:

۱. هیچ سرعتی نباید از سرعت خروجی از کولر تجاوز نماید.
۲. کانال‌ها باید تا حد ممکن کوتاه و ترجیحاً دارای طول کمتر از ۵۰ فوت (۱۵ متر) از کولر تا دورترین خروجی باشند.
۳. خم‌ها، سه‌راهی‌ها و زانویی‌ها باید انحنای زیادی داشته باشند. در جایی که اتصالات کوتاه مورد نیاز باشند، تیغه‌های داخلی جهت‌دهنده موجب افزایش جریان و کاهش مقاومت می‌شوند.
۴. همه تغییرات در سطح مقطع کانال باید تدریجی باشند نه ناگهانی.
۵. لبه‌های فلزی، پیچ‌ها و برآمدگی‌های مشابه در درون کانال‌ها باعث ایجاد سر و صدا شده و باید از آنها اجتناب نمود.

طراحی عمومی کانال بستگی به این موضوع دارد که آیا کولرها پیش از طراحی سیستم کانال انتخاب شده‌اند یا خیر. در صورتی که ابتدا کولرها انتخاب شده باشند، سطوح مقطع، اتصالات و دریچه‌های خروجی کانال به گونه‌ای محاسبه می‌شوند که مقاومت در برابر جریان هوا، از کولرها به سمت دورترین

دریچه خروجی، در محدوده ظرفیت فشار استاتیک کولرها در حالتی باشد که حجم هوای شسته شده مورد نیاز را تحویل می‌دهد.

در صورتی که به دلایل خاص (معمولاً معماری) نخست سیستم کانال طراحی شده، آن‌گاه کولرها به‌گونه‌ای انتخاب می‌شوند که بتوانند حجم هوای شسته شده مورد نیاز را، در ازای افت فشارهای محاسبه شده به سوی دورترین خروجی، تحویل دهند.

در حالت کلی، حداکثر سرعت‌های مجاز در کانال‌ها، با توجه به سر و صدای ناشی از جریان هوای درون آن‌ها تنظیم می‌گردد. بنابراین، در منازل مسکونی و آپارتمان‌ها (که معمولاً آرام هستند)، سرعت‌های کانال انشعابی و دریچه توزیع هوا پایین نگه داشته می‌شوند تا صداهای ناشی از حرکت جریان در کانال، با سر و صدای پس زمینه موجود در اتاق خنثی گردد، اگر چه سرعت‌های دریچه توزیع هوا باید به حدی باشد که به میزان کافی باعث حرکت هوا شده تا آسایش فراهم گردد. هر چقدر سطح سر و صدای پس زمینه در تئاترها، رستوران‌ها، مغازه‌ها و کارخانه‌ها بالاتر باشد، امکان ایجاد سرعت‌های بیشتر در دریچه تقسیم هوا و کانال انشعابی فراهم می‌آید. سرعت در کانال‌های تنه‌ای همواره بیشتر است.

از آنجا که کانال‌های سرمایش تبخیری، در حالت کلی ساده‌تر، کوتاه‌تر، هموارتر و بزرگتر از کانال‌های سرمایش برودتی هستند، به ندرت به روش‌های پیچیده طراحی نیاز خواهد بود. جزئیات بیان شده در متون استاندارد بسیار فراوان بوده و در اینجا از تکرار آن‌ها پرهیز می‌گردد.

اتصال به سیستم‌های گرمایشی

کانال‌های سرمایش تبخیری می‌توانند به طور موفق هوای گرم اجباری را برای گرمایش در زمستان از خود عبور دهند. البته، از آنجایی که هوای شسته شده تمایل به ایجاد زنگ‌زدگی، در سطوح گرمایشی اکسید شده در اثر گرمای اکثر کوره‌های هوای گرم دارد، واحدهای گرمایشی و کولرها باید از طریق دمپرهای کشویی^۱ که تجهیزات بدون استفاده را به طور موثری درزبندی می‌کنند، به طور مجزا به کانال‌ها متصل شوند. استفاده از دمپرهای نوسانی، شیر پروانه‌ای، دیافراگمی یا خودکار رضایت‌بخش نخواهد بود مگر آن که مبدل‌های حرارتی کوره از جنس فولاد ضد زنگ بوده یا با پوشش‌های مشابهی به صورت دائمی محافظت شوند. استفاده از فن‌های کولر برای گرمایش غیر عملی است.

هوای گرم خروجی از دریچه‌های توزیع هوای سرمایش، معمولاً فاقد سرعت توزیع مناسب برای گرمایش یکنواخت است، بنابراین معمولاً نصف دریچه‌های خروجی در زمستان بسته می‌شوند. برخی دریچه‌های توزیع هوا عمداً تقسیم می‌شوند، در غیر این صورت مالکان پرها را می‌چرخانند یا مقوا یا دیوارک‌های فلزی صفحه‌ای مناسبی را درون آنها قرار می‌دهند. جهت کسب اطلاعات بیشتر در مورد اتصال داخلی سرمایش تبخیری مستقیم با سیستم‌های گرمایش و برودتی به فصل ۱۰ مراجعه کنید.

اهداف توزیع هوای شسته شده

در اتاق‌ها، هوای شسته شده باید ابتدا به گردش درآید تا گرمای ورودی از دیوارها، پنجره‌ها، سقف‌ها و کف را خارج سازد. به جز در حالتی که این گرما جذب و به بیرون رانده می‌شود، ممکن است ساکنین، گرمای فروسرخ تابشی کافی را از سطوح دریافت نمایند که بسیاری از مزیت‌های دمای کاهش یافته هوای درون اتاق را خنثی می‌نماید. در حالت کلی، کاهش دمای میانگین سطوح اطراف، معادل با کاهش دمای هوا به همان میزان است. فراهم ساختن افزایش دمای عامل اول، تاثیر کاهش عامل دوم را خنثی می‌سازد.

بنابراین، هوای شسته شده خنک ورودی، باید پیش از خنک نمودن ساکنین به مقابله با گرمای ورودی و سطوح تابش کننده بپردازد. پس از جذب گرمای ورودی، دمای هوای شسته شده تنها ۱ تا ۳ درجه فارنهایت (۰/۶ تا ۱/۷ درجه سلسیوس) کمتر از دمای متوسط اتاق بوده و قادر است با سرعت بالا و بدون ایجاد احساس کوران، که ممکن است در حالتی رخ دهد که ابتدا با پوست برخورد نماید، بر روی پوست انسان بچرخد. علاوه بر این، گرمای محسوس جذب شده، رطوبت نسبی هوا را کاهش داده و از این طریق ظرفیت هوا را برای دفع گرمای نهان از طریق تبخیر رطوبت از سطح پوست، ریه‌ها و غشاهای دهان، بینی و گلو افزایش می‌دهد (به شکل ۶ مراجعه کنید).

بنابراین، به منظور دستیابی به بیشترین اثر سرمایشی کلی، توزیع هوا در سرمایش تبخیری باید مشخصاً با اهداف زیر صورت گیرد:

۱- نخست، تمام سطوح گرم داخلی را با سردترین هوا شستشو داده تا کمترین دمای تابشی میانگین (MRT) ممکن را ایجاد نماید.

۲- سپس، با هوای متحرکی که تقریباً در در دما و رطوبت اتاق (مخلوطی از هوای اتاق و هوای شسته شده که با جذب حرارت از سطوح ورودی حرارت فوق گرم شده است) است ساکنین را شستشو دهد.

۳- از برخورد سردترین و سریع‌ترین جریان هوا با سکنه یا چیزی که موجب برهم زدن فعالیت، برگه‌ها و دیگر وسایل آن‌ها می‌شود جلوگیری گردد.

۴- هوای شسته شده و گرمای محسوس و نهان جذب شده توسط آن را با کمترین میزان افزایش دما به خارج از اتاق تحویل دهد.

اغلب نصب‌های ناموفق، یک یا چند مورد از موارد فوق را مختل می‌نمایند.

خروجی‌های سقفی

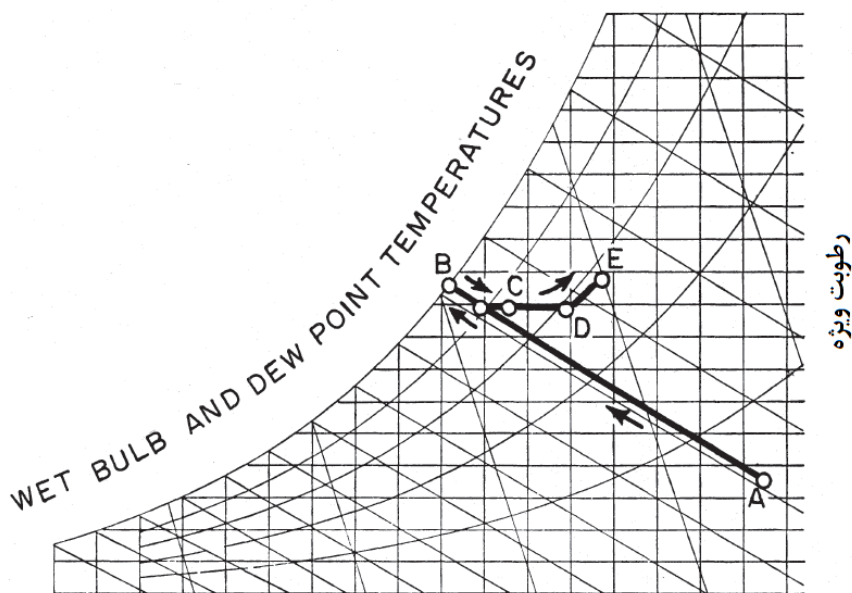
بهترین نوع ورود به اتاق برای هوای شسته شده، از طریق دیفیوزرها و دریچه‌های سقفی است. مرکز این دریچه‌های خروجی تقریباً در بالای سر قرار داشته و هوا را موازی با سطوح سقف تحویل می‌دهند. معمولاً این جریان به صورت شعاعی در تمام جهات پخش می‌گردد (قابل تنظیم به صورتی که بیشتر به سمت دیوارها و پنجره‌های گرم خارجی برود)، گرمای سقف را جذب نموده و سپس به سمت پایین دیوارها و پنجره‌ها جریان می‌یابد و آن‌ها را خنک می‌کند. نهایتاً هوای شسته شده بر روی کف، به سوی مرکز اتاق جریان می‌یابد که در آن نقطه به سمت بالا و نواحی که افراد در آن مستقر هستند گردش یافته، با هوای اتاق ترکیب شده و آن را تحریک می‌نماید. از اینجا به بعد، این مخلوط به صورت پایدار به سوی مسیرهای خروجی خود (که ترجیحاً در فضاهای زیر شیروانی یا فضاهای گرم زیر پشت بام واقع است) در جهت پشت به باد، به طرف خارج از اتاق جریان می‌یابد.

این الگوی جریان، گردش هوای بسیار یکنواختی را درون اتاق‌ها به وجود آورده و هیچ کورانی را ایجاد نمی‌نماید. پیمایش سقف‌ها، دیوارها، پنجره‌ها و کف‌ها توسط خنک‌ترین هوا، MRT اتاق را کاهش داده و همانند دیوارهای درونی (تیغه) خنک‌شده، کمترین سرماییش تابشی ممکن را فراهم می‌نماید.

دیفیوزرهای سقفی خوب ضروری هستند. از آنجا که حجم زیادی از جریان هوای عمودی باید تغییر جهت داده و با حداقل صدا و افت فشار به صورت شعاعی و افقی توزیع گردد، انواع دیفیوزر مخروطی هم مرکز هوا لغز یا انواع Anemostat (دیفیوزری برای تنظیم جریان و فشار هوای یک اتاق که بر اساس الگوهای پیچیده جریان کار می‌کند- مترجم) به انواع ساده ترجیح داده می‌شوند. این انواع گران قیمت هستند و ممکن است با تجهیزات روشنایی سقفی تداخل پیدا کنند، اما دارای بیشترین توان تنفسی برای کشیدن هوای اتاق به درون حرکت هوای شسته شده هستند. درحالی‌که این انواع، گردش هوا در درون اتاق را تحریک می‌نمایند، به ندرت باعث ایجاد کوران محسوسی می‌گردند. هم اکنون انواع زیادی از آن‌ها در قالب الگوهای مربعی موجود بوده که به منظور انحراف بخش عمده‌ای از جریان به سمت دیوارهای خاص، به کنترل‌گرهای مخفی مجهز هستند. این امر مهم است زیرا جریان به سمت دیوارهای سرد غیر خارجی به شدت هدر می‌رود. (به شکل ۷ این فصل مراجعه کنید).

برخی دیفیوزرهای مربعی و نیم‌دایره‌ای سقفی، با کنترل‌های جهت‌دهنده ثابت، می‌توانند در نزدیکی دیوارهای داخلی نصب گردند تا هوا را از سقف‌ها به سمت دیوارهای خارجی برانند. این موضوع در اتاق‌های با شکل ساده رضایت‌بخش است تا کانال‌های انشعابی کوتاه‌تری را ایجاد نمایند.

در بچه‌پلاک‌های سقفی، جایگزین‌های ارزان قیمتی برای دیفیوزرها هستند. آن‌ها معمولاً دست ساز بوده و به صورت صنعتی تولید نمی‌شوند، و به شکل پانل‌های مستطیلی یا دایروی افقی از جنس ماده سقف به پهنای ۲ تا ۴ فوت (۰/۶۱ تا ۱/۲۲ m) می‌باشند که مرکز آن‌ها در فاصله ۶ تا ۱۲ اینچی (۱۵/۲ تا ۳۰/۵ cm) در زیر سقف بر روی دیوارکوب‌های مخفی باریک می‌باشد. معمولاً پلاک‌ها تجهیزات روشنایی مرکزی را حمل نموده و ظاهری خوشایند و ساده داشته و باید دو انتهای کانال هوای شسته شده که در بالای آن‌ها است را به طور کامل بپوشانند. هوای شسته شده دمیده شده به سمت پایین، به طور شعاعی به موازات سطح سقف به سمت آن‌ها منحرف می‌گردد، در حالی که دیوارکوب‌های مخفی می‌توانند جریان را به سمت دیوارها و منابع حرارت خاصی هدایت کنند.



دمای خشک

شکل ۶- فرآیند رطوبت سنجی سرمایش ایده‌آل اتاق. هوای شسته شده در C وارد می‌شود و ابتدا گرمای دیوار و سقف را تا D جذب می‌نماید، سپس در طی رطوبت‌های کمتر، حرارت بدن انسان را تا نقطه خروجی E جذب می‌نماید.

بر حسب اندازه اتاق و جریان هوا، ابعاد و فواصل واقعی از زیر سقف تغییر می‌یابند. هرچقدر جریان هوا بیشتر باشد، اندازه و فاصله مجاز مورد نیاز بیشتر خواهد بود.

دیفیوزرها و پلاک‌های سقفی، هوای شسته شده را از بالا و از طریق زانویی‌ها یا جعبه‌هایی از کانال‌های تنه‌ای، فضاهای درون سقفی (پلنوم) یا دیگر سیستم‌های توزیع‌کننده دریافت می‌نمایند.

دریچه‌های خروجی دیواری

سیستم‌های کانال با دریچه‌های توزیع هوای واقع در بالای دیوارهای داخلی که در ارتفاع ۷ فوتی (۲/۱ متری) یا بیشتر از کف در دیوارهای داخلی (تیغه-پارتیشن) مقابل دیوارها و پنجره‌های خارجی قرار دارند، ارزان قیمت‌تر هستند. در خانه‌ها، آپارتمان‌ها، ادارات، اتاق‌های هتل و مدارس غالباً این دریچه‌ها در بالای درهای سالن قرار می‌گیرند که به روی اتاق‌ها باز شده و هوا را از طریق کانال‌های موجود در بالای راهروها، که با سقف کاذب پوشیده شده‌اند، دریافت می‌نمایند. در حالت اخیر، کانال‌ها نیازی به عایق ندارند.

اگر دریچه‌های خروجی روی دیوار داخلی بلند، تنها وظیفه هدایت جریان هوا را داشته باشند، معمولاً دریچه مشبک^۱ نامیده می‌شوند اما اگر مجهز به دمپرهایی باشند که جریان حجمی هوا را نیز کنترل می‌کنند دریچه توزیع هوا^۲ خوانده می‌شوند. دریچه‌های مورد استفاده برای سرمایش تبخیری دارای ارتفاع ۸ اینچی (۲۰/۳ cm) هستند و طول آن‌ها نیز بر اساس نیازهای سرمایشی اتاق تعیین می‌گردد. الزامات^۳ FHA برای نواحی فونیکس و آلبوکرک تعیین می‌کند که دریچه‌های مشبک یا دریچه‌های توزیع جریان هوا هر یک باید مساحت ناخالصی به میزان حداقل ۰/۰۵۵ برابر مساحت کف محل در حال تهویه را داشته باشند.

در حالت ایده‌آل، این دریچه‌های خروجی، جریان‌های تخت گسترده هوای خنک را در امتداد سقف یا به طور افقی به دیوارهای خارجی می‌دمند. تیغه‌های جلویی آنها قابل تنظیم هستند، در نتیجه جریان‌ها می‌توانند کل پهنای دیوار را پوشش داده و سپس به سمت پایین و به طرف کف حرکت کنند. بنابراین، دیوارها، کف‌ها و مساحت زیادی از سقف توسط جریان پوشش داده می‌شوند و هوای زیادی از اتاق، همراه با جریان‌های ورودی کشیده می‌شود. در عمل، جذب گرما از سطوح اطراف، به ویژه در اتاق‌های با شکل پیچیده، کمتر از خروجی‌های سقفی است.

برای کسب بهترین اثر در ورود هوا، دریچه‌های توزیع هوای بالای دیوارهای داخلی، مستطیلی (و نه مربعی) هستند. بهترین انواع این دریچه‌ها، دارای تیغه‌های قابل تنظیم به صورت انفرادی هستند و به صورت دریچه‌های کرک‌های غیرقابل تنظیم^۴ نیستند. فاصله تیغه‌ها از یکدیگر ۱/۲ تا ۱ اینچ (۱/۳ تا

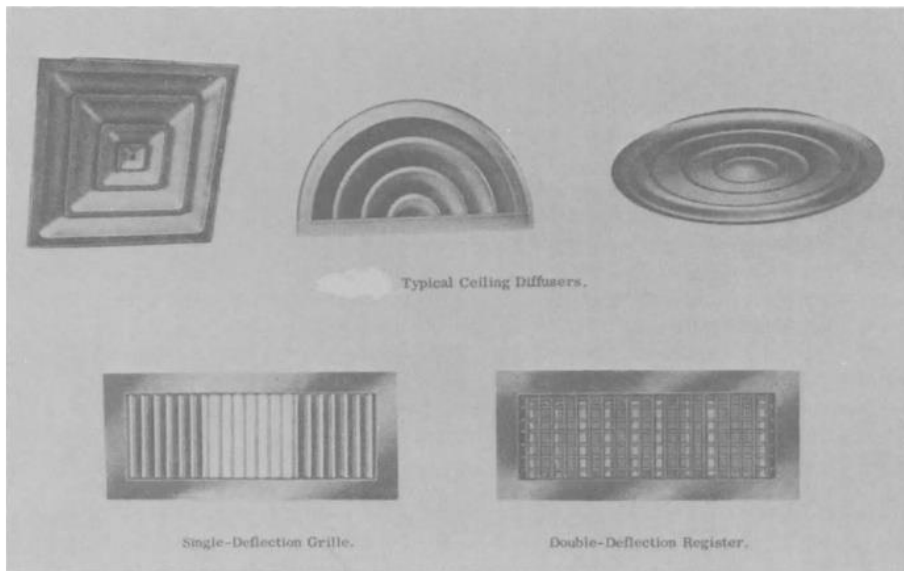
1- Grille

2- Register

3- Federal Housing Administration: اداره مسکن دولت فدرال

4- Stamped louver

۲/۵ cm) است زیرا فاصله کمتر می‌تواند باعث ایجاد سر و صدای ناشی از جریان هوا شود. تیغه‌های خارجی، هوا را به صورت جانبی پخش می‌نمایند تا به بالای تمام سطوح گرم شده، به خصوص پنجره‌های مقابل، برخورد نماید. تیغه‌های داخلی، برای منحرف نمودن جریان به سمت بالا مناسب هستند تا از برخورد هوای سرد مخلوط نشده با افراد واقع در زیر جلوگیری نمایند.



شکل ۷- دریچه‌های خروجی متداول برای هوای شسته شده ورودی به اتاق‌های غیر صنعتی. دیفیوزرها به صورت تخت در برابر سقف نصب شده و هوای شسته شده را به موازات خود و به سمت دیوارها و پنجره‌ها می‌فرستند. اغلب این هوا به صورت شعاعی فرستاده می‌شود. برخی از آن‌ها کوران زیادی ایجاد می‌نمایند. دریچه‌های مشبک و دریچه‌های توزیع هوا در قسمت بالای دیوارهای داخلی نصب می‌گردند و جریان‌های فوقانی را به سمت دیوارهای خارجی و شیشه می‌فرستند. هر چه فاصله بیشتر باشد، سرعت بیشتر خواهد بود بنابراین فقط در حالتی که دریچه‌های خروجی به اندازه کافی در بالا قرار دارند، کوران ایجاد نمی‌شود. دریچه‌های توزیع هوا، جریان و تنظیم جهت بیشتری را نسبت به دریچه‌های مشبک فراهم می‌آورند.

دریچه‌های خروجی واقع در بالای دیوارهای داخلی، گردش هوای پر کوران‌تری را نسبت به دیفیوزرهای سقفی به وجود می‌آورند. بنابراین، دریچه‌های توزیع هوای دو تنظیمه بهترین گزینه برای کنترل هستند. اگر این دریچه‌ها به دقت تنظیم شوند، اغلب انواع آن یک آسایش عالی را با صرفه‌جویی قابل ملاحظه در هزینه‌های کانال فراهم می‌نمایند. از آنجا که رطوبت موجود در هوای متحرک به طور جزئی از تبخیر از سطح پوست برهنه جلوگیری می‌نماید، در صورت استفاده از هوای شسته شده، سیستم دریچه‌های بالای دیوارهای داخلی نسبت به هوای برودتی کوران کمتری ایجاد می‌کند.

سیستم‌های پلنوم سالنی

ارزان‌ترین سیستم‌های مرکزی از راهروهای باز به عنوان پلنوم (فضای درون سقفی) توزیع‌کننده استفاده می‌نمایند. هوای شسته شده از طریق دیفیوزرها یا دریچه‌های توزیع هوای بزرگ سقفی وارد پلنوم شده و از طریق درهای راهرو به درون تمام اتاق‌ها، به خصوص اتاق‌های رو به بیرون، جریان می‌یابد. اتاق‌ها تقریباً متناسب با مساحت خروجی که فراهم شده خنک می‌شوند.

یک بار مولف این کتاب از این ساختار در خانه‌ای در تگزاس استفاده نمود. یک کولر آبی فرو باد شش‌ضلعی گنبدی سقفی بر روی لبه فوقانی بام شیب‌دار، هوای خود را در امتداد سالن، به درون یک تونل طولانی موجود در فضای زیر شیروانی از جنس تخته فیبر تحویل می‌داد. سپس هوای شسته شده از طریق ۱۲ عدد فیلتر هوای استاندارد ۲۰ در ۲۰ اینچ (۵۱ در ۵۱ cm) از جنس الیاف شیشه وارد سالن می‌شد که به منظور جداسازی آسان، درون چارچوب‌هایی در داخل سقف جایگذاری شده بودند. این امر باعث توزیع روان و تقریباً بی صدای هوا در هفت اتاق رو به روی سالن می‌شد و فقط یک دیوارک، را از طریق فیلترهای واقع در زیر کولر، جریان اضافی را کاهش می‌داد. به ویژه در هنگامی که کولر به صورت خشک برای تهویه در بهار، پاییز یا غروب مورد استفاده قرار می‌گرفت، فیلترها مقدار قابل توجهی گرد و خاک را به دام می‌انداختند.

این سیستم، بدون ایجاد کوران در خارج از سالن، موجب تعویض هوای کافی و دماهای رضایت‌بخشی می‌شود. البته این سیستم، از اهداف اساسی توزیع هوای شسته شده تخطی نموده و باعث کاهش آسایش می‌گردد. سردترین هوا از طریق فضای مسکونی، و نه در امتداد دیوارها و سقف خارجی، حرکت می‌نماید تا آن سطوح حرارت را به سمت داخل تابش یا رسانش کنند. به علاوه، غالباً سرمایش به طور ضعیف توزیع می‌گردد. بنابراین، این سیستم احتمالاً نیازمند حجم بیشتری از هوا و واحدهای سرمایشی بزرگتر برای تامین آسایش معادل با آسایش به وجود آمده توسط سیستم‌های دیگر می‌باشد. همچنین این سیستم تنها زمانی قابل اعمال است که درهای اتاق باز مانده یا پانل‌های کرکره‌ای یا پنجره باز فوقانی (کتیبه) داشته باشند. درهایی که پایین آن‌ها بریده شده کفایت نمی‌کنند.

در یک سیستم مرکزی ارزان قیمت مناسب‌تر، از قسمت‌های جعبه ماندی در بالای سالن به عنوان پلنوم‌های (فضاهای درون سقفی) گسترده استفاده می‌شود. دریچه‌های توزیع هوا در اطراف اتاق نصب شده و باعث حذف کامل کانال‌های انشعابی می‌گردند.

سیستم‌های پلنوم زیرزمینی

سرمایش تبخیری مرکزی بدون کانال، می‌تواند از طریق درزبندی فضاهای گربه‌رو یا زیرزمین در تابستان و نصب کولر برای هوادهی به آن‌ها میسر باشد. دریچه‌های توزیع هوای از نوع محیطی واقع در کف یا شکاف‌های زیر پنجره‌های طبقه اول و دیواره‌های خارجی، هوای شسته شده را، به صورت رو به بالا، در امتداد آن‌ها به سمت سقف می‌فرستند و حرارت هر دو را بدون ایجاد کوران جذب می‌نمایند. در حالت ایده‌آل، پس از این مرحله، هوای شسته شده به دریچه‌های کرکره‌ای خودکار سقفی سالن مرکزی وارد می‌شود تا از فضای زیر شیروانی عبور نموده و به سمت خارج حرکت کند یا از پنجره‌های بالایی سمت بام صعود کرده و خارج شود.

این طرح بر اساس اهداف اصلی توزیع هوای شسته شده تقریباً به طور کامل پیش‌بینی می‌شود. بنابراین باید بیشترین سرمایش را ایجاد نماید که شامل مقدار قابل ملاحظه‌ای سرمایش تابشی از طریق کف می‌شود.

دیفیوزرهای واقع در پایین دیوار خارجی

دیفیوزرهای خاصی می‌توانند در پایین دیوارهای خارجی قرار گیرند تا این دیوارها و سطوح شیشه‌ای را با هوای صعودکننده تازه آغشته کرده تا همان اثر دریچه‌های توزیع هوای محیطی را ارائه نمایند. همچنین دیفیوزرها با پرده‌ها و وسایل منزل هماهنگی بهتری داشته و بر خلاف دریچه‌های توزیع هوای واقع در کف، گرد و غبار را جمع نمی‌کنند. البته این دیفیوزرها مستلزم نجاری و ورقکاری بیشتری هستند و در نتیجه به ندرت دیده می‌شوند. استفاده از آن‌ها به همراه پلنوم‌های زیرزمینی می‌تواند حجم کانال‌کشی را تا حد زیادی کاهش داده و آن‌ها را عملی بسازد.

سیستم‌های سرمایش تابشی تبخیری مستقیم

در نوع دیگری از سرمایش تابشی، از دمش هوای شسته شده از طریق فضاهای توخالی عمودی دیوارهای ساختمان، از جنس بلوک سیمان، استفاده می‌شود که احتمالاً به صورت کانال‌های محیطی تعبیه شده در پایه دیوارهای باربر یا زیر سطح کف بوده و به هوای شسته شده اجازه می‌دهد تا به سمت بالا جریان یابد. هوای شسته شده به اتاق‌ها وارد نخواهد شد بلکه آن‌ها را به دو روش سرد خواهد نمود: با منحرف ساختن جریان حرارت خورشید و دیگر گرماهایی که از طریق دیوارها به درون جریان می‌یابند و با حفظ سطوح داخلی دیوار در یک دمای MRT به اندازه کافی پایین، تا حرارت انسان و اتاق را جذب نماید.

در یک گونه ارزان‌تر، از هوای شسته شده در سقف‌های بلوکی توخالی استفاده می‌شود، هوا، بدون اینکه رطوبت محیط داخل را افزایش دهد، هم سقف‌ها را عایق می‌کند و هم آن‌ها را خنک می‌نماید. نظیر این بام آزمایشی در تگزاس، به دلیل نشت‌بندی ضعیف مردود شناخته شد، زیرا اجازه می‌داد تا اتاق‌های خنک‌شده برودتی در زیر را به صورت غیر ضروری رطوبت‌زنی کند.

نصب‌های پنجره‌ای

نصب‌های متداول پنجره‌ای بدون کانال، بیشتر به دلیل هزینه کم آن‌ها، برای کولرهای آبی پیشنهاد می‌گردند. از آنجایی که اغلب کولرهای پنجره‌ای، هوا را از سمت دیوارها و پنجره‌های خارجی می‌رانند و این هوا تنها به صورت غیر مستقیم به سقف برخورد می‌کند، لذا از اهداف توزیع هوای شسته شده تخطی نموده و گرمای اندکی را به طور مستقیم از سطوح گرم‌کننده اتاق جذب می‌نمایند. اکثر حرارت، پس از ورود هوای اتاق به نواحی حضور افراد (و نه قبل از آن)، از هوای اتاق و وسایل جذب می‌گردد. این موضوع برای نصب‌های درون-دیواری نیز صحیح است هر چند در سطوح بالاتری به درون اتاق تخلیه می‌شوند.

در نتیجه، دستگاه‌های نصب شده به صورت پنجره‌ای و دیواری احتمالاً نسبت به سیستم‌های مرکزی، گرمای کمتری را از واحد حجم هوای تحویلی دفع نموده و به طور متناسب اجازه می‌دهند تا دمای هوای متوسط اتاق بالاتر باشد. بنابراین، در جایی که سیستم‌های مرکزی با توان یک اسب بخار، غالباً پنج اتاق بزرگ را خنک می‌کنند، برای ایجاد تاثیر مشابه، به دستگاه‌های پنجره‌ای یا دیواری با ظرفیت $\frac{1}{4}$ اسب بخاری نیاز خواهد بود که هر کدام در یک پنجره یا دیوار نصب می‌شود.

البته راه‌های جبرانی نیز وجود دارد. به دلیل موقعیت‌های پایین‌تر دریچه‌های خروجی آن‌ها، این کولرها بیشترین گردش هوا را در نواحی حضور افراد ایجاد می‌نمایند که غالباً به صورت مستقیم به افراد می‌دمد. در صورتی که این میزان موجب سلب آسایش یا مزاحم نباشد، می‌تواند دماهای موثر موضعی پایینی را ایجاد نماید که کمک می‌نماید با کاهش دفع حرارت و MRT بالا مقابله شود. هرچند، دماهای موثر در گوشه‌های اتاق که سرعت باد کم است مایوس‌کننده خواهد بود.

تاثیر توزیع هوای شسته شده بر تعیین اندازه کولر

با توجه به عدم در دسترس بودن داده‌های آزمایش، ممکن است سیستم‌های خروجی مذکور، از لحاظ منطقی به صورت زیر مقایسه گردند: برای جریان هوای معین، احتمالاً خروجی‌های سقفی بیشترین سطح آسایش را ایجاد کرده و پس از آن به ترتیب، دریچه‌های توزیع دیواری داخلی مرتفع، پلنوم‌های سالنی قرار دارند. بنابراین، برای اندازه کولر حداقل، خروجی‌های سقفی پیشنهاد می‌شوند.

احتمالاً سیستم‌های با دریچه‌های خروجی سقفی و پلنوم سالنی می‌توانند بدون ایجاد احساس کوران، همانند اتاق‌های نیازمند تهویه (هوارسانی) زیاد، از هوای شسته شده با میزان دریافت دمای $5 F$ (C) در اتاق‌ها استفاده نمایند. در حالت سیستم‌های با دریچه‌های خروجی سقفی، هوای با سرعت بالا به افراد برخورد نمی‌نماید. در حالت پلنوم سالنی، هیچ هوای متحرک با سرعت بالایی در خارج از سالن وجود ندارد. در مقایسه، دریچه‌های خروجی دیواری داخلی مرتفع و با نصب پنجره‌ای بدون کانال و دستگاه‌های دیواری، هوای شسته شده سرعت بالا را به فضاهای مسکونی واقعی هدایت نموده و احتمالاً در نتیجه، با کمک جریان‌های هوا، احساس کورانی را به وجود می‌آورند که منجر به دریافت دمای کمتر از ۷ یا ۸ درجه فارنهایت ($3/9$ تا $4/4 \text{ deg C}$) درون اتاق‌ها می‌گردد. بنابراین، برای جلوگیری از کوران، به نظر می‌رسد، در صورت سرمایه‌ش غیر یکنواخت اتاق و دماهای داخلی گرم‌تر، افزایش دمای هوای شسته شده به میزان ۹ تا ۱۰ درجه فارنهایت (5 تا $5/6 \text{ deg C}$) ضروری است.

دریچه‌های خروجی درون دیواری مرتفع وضعیت ضعیفی دارند، زیرا متاسفانه، در اغلب اوقات فوران‌های هوای آن‌ها باعث پژمردگی پوست برهنه حساس ناحیه گردن و گوش‌ها می‌گردد. به طور خلاصه، دریچه‌های خروجی سقفی امکان ایجاد جریان‌های هوای شسته شده بدون کوران مرتفع‌تری را نسبت به جریان‌های پست‌تر، به درون اتاق‌ها، فراهم آورده و در نتیجه دماهای خنک‌تری را ایجاد می‌کنند. بدین ترتیب کولرها باید، همانطور که در فصل قبل به تفصیل بیان شد، تعیین اندازه شوند. **نمودار سرمایه‌ش مفید بهترین راهنما در این مرحله است.** (به فصل ۱۷ مراجعه کنید).

حرکت داخلی هوای شسته شده

هنگامی که جریان‌های هوای شسته شده، فاصله زیادی از خروجی‌های خود دارد، به دو دلیل میزان آسایش بر حسب فاصله از نقطه ورودی کاهش می‌یابد: نخست این که هوای شسته شده به صورت پایدار در حال افزایش دما است و دوم این که سرعت و انرژی آن که منجر به گردش مناسب هوای اتاق می‌گردد سریعاً کاهش می‌یابد.

در جایی که فاصله از ۵۰ فوت ($15/2 \text{ m}$) بیشتر است، ممکن است افزایش حجم یا سرعت جریان اصلی، نسبت به افزودن فن‌های سقفی عادی برای احیای مجدد تلاطم در هوای شسته شده که در پایین دست کاهش می‌یابد، کمتر عملی باشد. همچنین این گونه فن‌ها می‌توانند آسایش را، در سالن‌های بزرگ یا سرسراهایی که تا حدودی از مسیرهای جریان هوای شسته شده در امان هستند، به شدت افزایش دهند.

این فن‌ها تقریباً بدون صدا هستند و حجم زیادی از هوا را با هزینه کم به گردش درمی‌آورند. آن‌ها باید برای استفاده مستقل احتمالی در زمانی که سرمایه‌ش تبخیری خاموش است (نظیر زمان‌هایی که

هوا معتدل یا مرطوب است) سیم‌کشی شوند. بهترین مکان برای نصب این فن‌ها در فاصله ۱۲ اینچی (۳۰/۵ Cm) از سقف بوده و مستلزم ارتفاع سقف ۸ فوت (۲/۴ m) یا بیشتر هستند.

تخلیه هوای شسته شده به بیرون

فرار آزادانه هوای شسته شده استفاده شده به بیرون یک ضرورت مطلق است. کولرها نمی‌توانند هوا را به درون ساختمان‌ها یا اتاق‌های درزبندی شده بفرستند، زیرا رطوبت محصور شده منجر به عدم آسایش و ایجاد کپک می‌گردد. برای خروج هوای شسته شده به خارج، پنجره‌ها، درهای توری و دیگر مجراهای تهویه باید ترجیحاً در اضلاعی از ساختمان که پشت به باد هستند باز شوند. در جایی که چندین اتاق توسط یک دستگاه مرکزی خنک می‌شوند، هر یک باید هوای شسته شده را به طور مستقل تخلیه نمایند تا از یک جریان فراگیر اطمینان حاصل گردد. هر اتاقی که هوای شسته شده را بدون تخلیه آن دریافت می‌نماید رطوبت طاقت‌فرسایی را ایجاد می‌نماید.

در هر حالت، پنجره‌ها، درها و دیگر منافذ از جمله دودکش شومینه باید امکان خروج آزاد هوای شسته شده محتوی گرم را فراهم نمایند. میزان سطح مجراهای هواکش مورد نیاز، معمولاً به میزان سه برابر سطح تخلیه کولر تعیین گشته و در صورتی که توسط توری یا کرکره‌ای حشرات محدود شده باید این مقدار افزایش یابد.

در حالت کلی، هرچه فرار هوای استفاده شده آزادانه‌تر باشد، سرمایه‌ش بهتر خواهد بود. البته سطح اضافی مجرای هواکش، همانند درهای باز، می‌تواند فشار هوای ایجاد شده توسط کولرها در داخل اتاق‌ها را کاهش دهد و موجب تشویق نفوذ هوا گرم و گرد و غبار خارجی به درون ساختمان‌های دارای نشستی واقع در راستای باد می‌شود.

مجرای هواکش هوای استفاده شده باید در محلی قرار گیرد تا برای هوای شسته شده، به صورت قطری، حلقوی یا دایروی، طولانی‌ترین مسیر عملی را از اتاق‌های خنک شده فراهم نماید. البته به جز در حالتی که اتاق‌ها بسیار کوچک هستند، نباید بیش از دو اتاق متوالی توسط یک جریان هوا خنک شود. بهترین مکان نصب مجرای هواکش، در سمت پشت به باد ساختمان‌ها است تا باد حاکم، هوای شسته شده استفاده شده را به سرعت با خود برده و از ورود مجدد آن به کولرها جلوگیری نماید. سطح کل مجاری هواکش می‌تواند در یک نقطه، همانند سقف سالن، متمرکز بوده یا این که همانند مجاری باز درون هر اتاق به صورت تقسیم شده باشد.

از آنجا که مسیرهای جریان، در ساختمان‌های صنعتی، طولانی هستند یا در آن جا که اتاق خواب‌ها مقدار کمی جریان هوای شسته شده مستقیم دریافت می‌نمایند، آگزوز فن‌هایی که به صورت راهبردی

مستقر شده‌اند می‌توانند هوای شسته شده را کشیده و ضمن ایجاد تلاطم ضعیف در داخل اتاق، هواکشی موثری را به وجود آورند. در حالت کلی، آگزوز فن‌ها بهترین عملکرد را در زمانی خواهند داشت که در بالای منابع گرمای داخلی بزرگ، مانند اجاق گازها، کوره‌ها و موتورهای الکتریکی یا منابع بخار، دود یا گرد و خاک، همانند خشک‌شویی یا ماشین‌های لباسشویی، اتاقک‌های پاشش رنگ و آسیاب‌ها، قرار گیرند (به فصل ۱۳ مراجعه کنید).

پیشتر، در فصل ۸، به خنک‌کاری توسط پد پنجره‌ای اشاره شد که هوای شسته شده استفاده شده را از طریق فضاهای زیر شیروانی تخلیه می‌کرد تا از رسیدن گرمای خورشید به سقف‌ها جلوگیری نماید. به طور خاص، هوای شسته شده به درون آگزوز فن‌های مرکزی با قطر بزرگ "کل‌خانه" مکیده می‌شود تا این هوا به درون فضای زیر شیروانی دمیده شده تا گرما را جذب کرده و سپس آن را روانه محیط خارج نماید.

گاهی اوقات در منازل مسکونی و ساختمان‌های دارای تهویه مطبوع برودتی، از کولرهای تبخیری تنها برای سرمایش فضای زیر شیروانی استفاده می‌شود. نتایج متغیر بوده و بزرگترین مسئله خطر چگالش رطوبت بر روی عایق سقف است. بدین منظور فقط از عایق ضخیم‌تری استفاده می‌شود تا ریسک و هزینه کمتری داشته باشد.

کانال‌های رو به بالا

تخلیه هوای شسته شده استفاده شده از طریق فضای زیر شیروانی دارای مزایا و البته پیچیدگی‌هایی است. اغلب خانه‌ها و ساختمان‌های با سیستم‌های خنک‌کاری تبخیری کانال‌کشی شده، دارای دریچه-های خروجی در امتداد یا نزدیک خطوط طولی-مرکزی هستند که هوای شسته شده را به دیوارهای بیرونی جریان می‌دهد. سیستم‌های سنتی دارای تخلیه به سمت بالای سالن مرکزی، می‌توانند مسیر جریان هوای شسته شده از اتاق‌ها را کوتاه کرده و احتمالاً گوشه‌های هر دو دیوار داخلی و خارجی را تبدیل به محل تجمع آب مرطوب نمایند.

برای کشیدن هوای شسته شده متحرک به گوشه‌های مزبور، این هوا می‌تواند از طریق دریچه‌های مشبک سقفی با جریان‌دهی رو به بالا، در فضاهای زیر شیروانی تهویه شوند. البته، دریچه‌های مشبک عادی، از طریق فضای زیر شیروانی، امکان پخش آتش از یک اتاق به اتاق‌های دیگر را فراهم می‌نمایند. خوشبختانه، سازندگان آریزونایی، دریچه‌های مشبک با جریان رو به بالای با نصب آسانی را می‌سازند که دارای دمپره‌های خودکاری هستند که با استفاده از اتصالات زودگدا^۱ این دریچه‌ها را در برابر هوای

مافوق گرم می‌بندند. به علاوه، این دریچه‌های مشبک مبدعانه، دارای دمپره‌های بارومتریک با توازن وزنی هستند که در زمان خاموش بودن سیستم سرمایش، آن‌ها را در برابر جریان هوا، گرد و غبار و حشرات درزبندی کرده اما در زمان روشن بودن، این سیستم در اثر فشار هوا باز شده و همچنین دارای پانل‌های کشویی است که از اتلاف حرارت در فصل خاموشی جلوگیری به عمل می‌آورد.

همانطور که در فصل ۱۰ ذکر شد، دریچه‌های مشبک مانع از باز و بسته شدن غیر ضروری درها و پنجره‌ها شده و از ورود صدا و گرد و غبار خارجی جلوگیری کرده، حریم خصوص را حفظ نموده، سرقت را کاهش داده و به خودکار کردن سیستم‌های دوشسته و افزودنی کمک می‌نمایند.

به نظر می‌رسد که این گونه دستگاه‌های جریان رو به بالا، از طریق نصب در گوشه‌های اتاق و هر جای دیگر، برای افزایش آسایش در بسیاری از سیستم‌ها مفید باشند، تا جریان هوای شسته شده یکنواختی را ایجاد نمایند. احتمالاً، این دستگاه‌ها، باید در اندازه مناسب و به تعداد کافی، کل هوای شسته شده را به سمت بالا تخلیه نمایند. اینگونه غیرمتمرکزسازی جریان به سمت بالا باعث بهینه‌سازی دفع حرارت فضای زیر شیروانی نیز خواهد گردید (به شکل ۸ مراجعه کنید).

عایق‌سازی ساختمان

حفظ گرما در خارج از ساختمان نسبت به دفع آن بسیار کم هزینه‌تر است. در نتیجه، اگرچه سرمایش تبخیری مستقیم، ارزان‌ترین ابزار شناخته شده دفع گرما در تابستان است، اما نگه داشتن گرما در خارج از محیط باز هم ارزان‌تر است. در کنار افزایش سطح آسایش حاصل، اغلب عایق‌ها و ابزارهای حفاظت در برابر آفتاب، دائمی و بدون نیاز به تعمیرات بوده و در معرض هیچگونه خرابی مکانیکی نیستند.

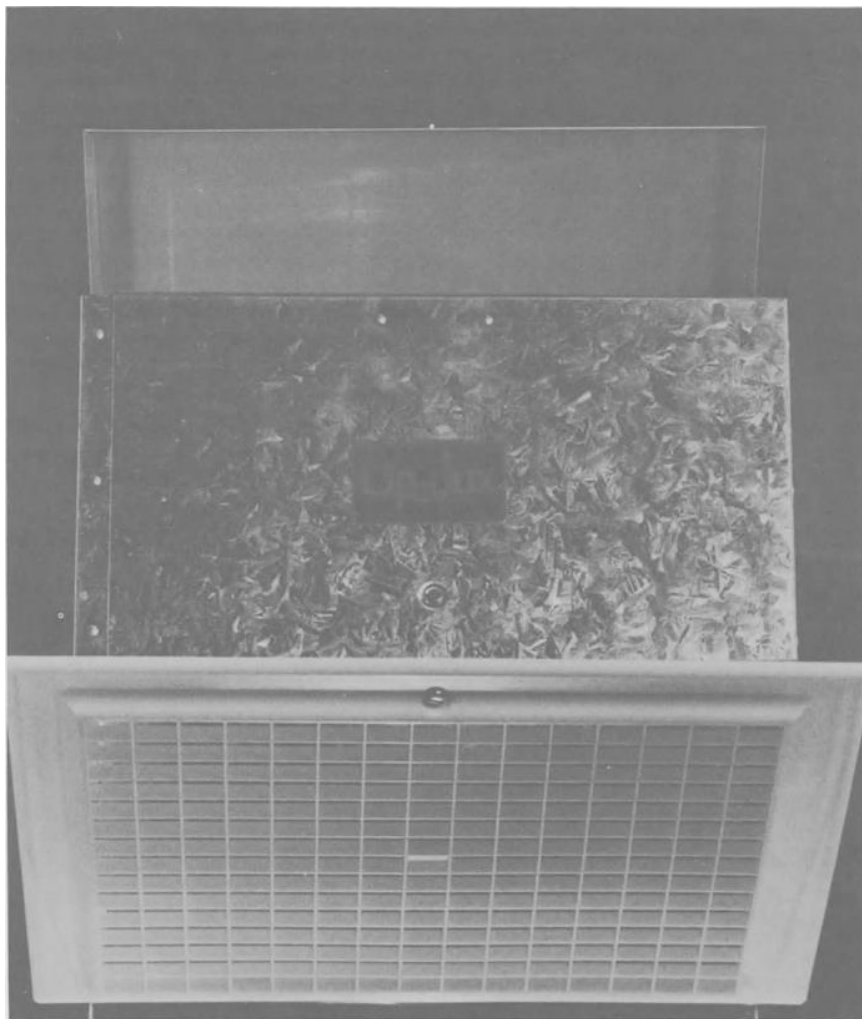
عایق‌بندی و برخورد اشعه آفتاب (کنترل حرارت خورشید) جدایی‌ناپذیرند. هر دلاری که برای آن‌ها صرف می‌شود می‌تواند باعث صرفه‌جویی در هزینه اولیه تجهیزات و بسیار بیش از آن در هزینه‌های بهره‌برداری کولر در سال‌های آتی گردد.

در سرمایش برودتی نیز عایق‌بندی بام یا سقف تقریباً به همان اندازه ضروری است مگر در جایی که ساختمان‌ها به صورت نقطه‌ای خنک می‌شوند (به فصل ۱۳ مراجعه کنید). عایق‌بندی دیوار لزوم کمتری دارد، اگر چه عایق‌بندی دیوارهای رو به جنوب، جنوب غربی و غرب باید صورت گیرد مگر آن که دیوارها در سایه باشند. اتاق‌ها یا ساختمان‌های خنک شده به طریق سرمایش فضا، نسبت به سرمایش نقطه‌ای، نیاز بیشتری به عایق‌بندی دارند، به ویژه اگر برای مدتی در معرض آفتاب باشند.

تابش آفتاب

هر دلاری که برای ساختمان‌های با سرمایه‌های در معرض اشعه‌های خورشید خرج می‌گردد، مطمئناً دو برابر آن باز خواهد گشت، زیرا آفتاب سطوح خارجی ساختمان را بسیار بیش از هوای خارجی گرم کرده و رسانش بیشتر و سریع‌تری را به سمت داخل آغاز می‌کند. دیوارهای جنوبی و غربی بیشتر در معرض هستند. جهت‌گیری ساختمان مهم است. در صورت امکان، سطوح طویل یک ساختمان باید رو به جنوب و غرب باشند یا بهتر آن است که دیوار جنوبی، با راستای جنوب مغناطیسی، زاویه ۱۳ تا ۱۵ درجه به سمت شرق بسازد، تا هزینه سایه‌اندازی بر آن را در اغلب ساعات تابستان به حداقل برساند. همچنین، تمامی دیوارها باید دارای روشن‌ترین رنگ ممکن بوده و سقف‌ها نیز به رنگ سفید مات یا نقره‌ای باشند.

در صورت امکان، در تابستان هیچ شیشه‌ای نباید در معرض نور مستقیم آفتاب باشد. حداقل تعداد پنجره ممکن باید رو به شرق یا غرب باشد و باید سایه‌بان‌ها و پرده‌های کرکره‌ای بیرونی یا توری حشرات از نوع سایه‌دار، به ویژه در سمت غرب، بر آن سایه افکند مگر آن که توسط درختان یا ایوان‌های بلند محافظت شود. اغلب پنجره‌ها باید رو به شمال یا جنوب باشند، مورد دوم (یعنی پنجره‌های سمت جنوب) باید از بالا توسط درختان، سایه‌بان سقف، رواق یا بالکن‌های خارجی، یا توسط سایه‌بان‌ها و پرده کرکره‌های بیرونی، تحت سایه قرار گیرد.



شکل ۸- یک دریچه مشبک خودکار کانال رو به بالا، برای تخلیه هوای شسته شده استفاده شده به بیرون، از طریق فضاهای زیر شیروانی، که از نمای زیر دیده می‌شود. درون روکش فلزی که از طریق سقف و عایق به بالا راه دارد، یک دمپر بارومتریک، که توسط فشار هوای اتاق باز می‌شود، دمپرهای آتش، که در اثر ازدیاد حرارت زیرین بسته می‌شوند، و یک دریچه دستی برای استفاده در زمستان، وجود دارد. این دستگاه‌ها، که در ابعاد مختلفی هستند، موجب عدم نیاز به باز و بسته کردن دستی پنجره و در، که موجب ورود صدا و کثیفی بوده و احتمال سرقت را افزایش می‌دهند، گشته و در عین حال موجب سرمایه‌گذاری فضای زیر شیروانی نیز می‌شوند. با استفاده از یک یا چند عدد از آن‌ها در هر اتاق، آن‌ها در گوشه‌های سقف که فاصله نسبتاً خوبی از ورودی هوای شسته شده دارند، در سرسراه‌های با گردش ضعیف هوا یا در بالای منابع حرارت یا آلودگی داخلی، عملکرد خوبی دارند. همچنین آن‌ها به خودکار کردن سیستم‌های دوپشته کمک می‌نمایند.

برای عایق‌بندی در کل سال، شیشه دو جداره دارای یک فاصله هوایی مناسب است، اما حفاظت قابل ملاحظه‌ای در برابر آفتاب فراهم نمی‌نماید. شیشه رنگی بازتابنده یا جذب گرما، درصد کمتری از تشعشع دریافتی را منتقل می‌نماید و بنابراین در جایی مفید است که سایه‌گذاری خارجی غیر ممکن باشد.

در ساختمان‌های صنعتی، سقف‌های دندانه‌اره‌ای دارای شیشه‌های عمودی رو به شمال، روشنایی داخلی و تهویه رو به بالای هوای شسته شده عالی را فراهم می‌نمایند. البته، بخش‌های شیب‌دار سقف، تله‌های گرمای خورشیدی هستند. به جز حالتی که دیوار خارجی، سفید یا نقره‌ای بوده و دیوار داخلی نیز به خوبی عایق شده‌است، جریان حرارت تابشی از آن‌ها به سمت داخل می‌تواند موجب خنثی‌سازی این مزایا شود. در مقابل، مقدار نسبتاً کمی از نور خورشید وارد بر بام‌های فانوسی^۱ مرتفع، به کف رسیده و قسمت عمده آن توسط سازه جذب شده و در ارتفاع بسیار بالا به هوای داغی تبدیل می‌شود که با توجه به ارتفاع زیاد آن، تاثیری بر آسایش در پایین خود نداشته و به راحتی تهویه می‌شود.

به طور خلاصه، اگر چه هوای شسته شده اقتصادی‌ترین سرمایه‌ش را برای ساختمان‌های بدون عایق فراهم می‌نماید، که در آن‌ها آسایش و نه صرفاً سرمایه‌ش در قالب یک مسکن مطلوب است، سرمایه‌ش تبخیری باید با هر دو مورد عایق‌بندی مناسب و سایه‌گذاری در برابر نور آفتاب همراه باشد (به فصل ۴ مراجعه کنید). البته، جریان آب دور ریز نیز ضروری است (به فصل ۷ مراجعه کنید).

کنترل‌ها

معماران، مهندسان و اغلب مشتریان، دستگاه سرمایه‌ش را ترجیح می‌دهند که شریط داخلی ثابت یا قابل پیش‌بینی را فراهم نماید. بسیاری از پیش‌دآوری‌ها بدین خاطر است که کولرهای تبخیری دماهایی را فراهم می‌نمایند که با دمای مرطوب محیط خارج تغییر می‌کنند.

متأسفانه، به جز ترموستات، کنترل‌های خودکار مناسب اندکی برای آسایش انسان با سرمایه‌ش تبخیری ساخته می‌شوند. اما ترموستات‌های ساده روشن-خاموش، انطباق خوبی با سرمایه‌ش مستقیم ندارند. آن‌ها امکان ایجاد تغییرات نامعلومی را در دمای داخل اتاق فراهم می‌نمایند که موجب تغییرات ۱۰۰ درصدی در جریان هوا و سرمایه‌ش شده و به همراه آن نوسان‌های زیادی در دمای موثر و سطح صدا را به وجود می‌آورند. بدین ترتیب به جای سطوح آسایش ثابت، یک سری تغییرات شدید خودسرانه حاصل می‌گردد.

ترموستات‌های ایده‌آل، می‌توانند به طور خودکار فن‌های دو یا حتی سه سرعت را به کار اندازند تا مراحل متعددی از هوارسانی هوای خشک را در آب و هوای نسبتاً خنک یا صبح‌ها فراهم کرده و به دنبال آن، با افزایش دما، با روشن‌سازی پمپ‌ها مراحل متعددی از سرمایش تبخیری را در طول ساعات گرم ایجاد کرده و در نهایت با کاهش دماهای خارجی به طور پله‌ای عکس مراحل فوق را طی می‌کنند. هدف از این کار، ایجاد دمای موثر داخلی ثابت برای فراهم ساختن سطح آسایش ثابت است.

تکرار می‌شود، هنگامی که رقیب اصلی، یعنی سرمایش برودتی، شرایط آسایش نسبتاً ثابتی را ارائه می‌نماید، هر تلاشی باید جهت یکنواخت کردن عملکرد کولر تبخیری صورت گیرد. کنترل‌ها، در صورت توسعه و استفاده، می‌توانند در این امر به ما کمک کنند.

هرچند، همانطور که در فصل ۷ به تفصیل بیان شد، کنترل‌های خودکار باید کارهای بسیار بیشتری را انجام دهند. برای هر نوع کولر مستقیم، در زمان راه‌اندازی باید پمپ‌ها را یک یا دو دقیقه پیش از فن‌ها روشن نمود تا از پخش هوای گرم، یا در کولرهای آبی، از انتشار بوهای احتمالی جلوگیری به عمل آید. در زمان خاموشی فن، در همه انواع کولرهای از نوع پد دار، برای شستشوی گرد و غبار از روی پدها، باید پمپ‌ها برای سه دقیقه دیگر کار کنند.

سپس شیرهای تشت کولر باید باز شده، تا تمام آب و رسوب جمع شده را مرطوب کنند. هنگامی که شیرها بسته شده و تشت‌ها مجدداً پر می‌گردند، پمپ‌ها باید دوباره با شدت، این بار با آب تازه، پدها را بشویند تا تمام آب حاوی مواد معدنی را، که ممکن است رسوباتی را پس از خشک شدن بر جای گذارند، دفع نموده و جلبک‌ها و باکتری‌های مخرب را در معرض کلر جدید قرار دهند (به فصل ۷ مراجعه کنید).

پرسش‌های دوره‌ای

۱. سه مزیت نصب کولرهای تبخیری در سمت رو به باد ساختمان کدامند؟ از کدام مکان‌ها باید خودداری نمود؟
۲. اثر خاص برخورد حرارت خورشید بر روی کولرها یا لوله‌های تامین آب آن‌ها چیست؟ آسایش چگونه تحت تاثیر قرار می‌گیرد؟
۳. برای سیستم‌های مرکزی خانگی، سه مکان کولر سقفی را پیشنهاد نمایید. کدام یک احتمالاً هزینه‌های کانال‌کشی را به حداقل می‌رساند؟ در کدام مکان‌های بالاسری، کانال‌ها را به جای فضای زیر شیروانی در زیر سقف قرار می‌دهند؟
۴. مزایا و معایب مکان‌های کولر بر روی بام تخت چیست؟ چرا کولرهای دارای خروجی کناری یک انتخاب ضعیف هستند؟ توضیح دهید.

۵. مزایا و معایب حوضچه‌ها و پمپ‌های آب مرکزی در کولرهای آبی چندگانه واقع بر روی سقف‌های تخت کدامند؟
۶. تفاوت‌های کانال‌های تنه‌ای را با پلنوم‌های گسترده بیان نمایید. هزینه کدام یک کمتر است؟ کارکرد کدام یک بهتر است؟ چرا؟
۷. آیا کانال‌های سرمایش برودتی یا گرمایش را می‌توان برای هوای شسته شده به کار برد؟ مشکلات احتمالی را توضیح دهید.
۸. چرا در ساختمان‌های تجاری، سرعت‌های درون کانال، می‌تواند بیشتر از ساختمان‌های مسکونی باشد؟ توضیح دهید.
۹. در صورت استفاده از کانال‌های هوای شسته شده برای گرمایش در زمستان چه مشکلاتی پدید می‌آیند؟ چه راه‌حلی پیشنهاد می‌گردد؟ چرا؟
۱۰. اولین کاری که هوای شسته شده پس از ورود به اتاق باید انجام دهد چیست؟ چرا؟ چگونه؟ MRT چیست؟
۱۱. تفاوت دیفیوزرها، دریچه‌های توزیع هوا و دریچه‌های مشبک را بیان نمایید. هر یک معمولاً در کجا نصب می‌گردد؟ بهترین خروجی‌ها برای هوای شسته شده کدامند؟ چرا؟
۱۲. چرا سیستم‌های پلنوم سالنی شرایط آسایش بهتری را فراهم نمی‌نمایند؟ چه مزایایی دارند؟ هر دو نوع را در نظر بگیرید.
۱۳. یک سیستم تابشی تبخیری مستقیم را توضیح دهید. آیا در جایی که به شدت به تهویه (هوارسانی) نیاز است به کار می‌آید؟
۱۴. چرا کولرهای پنجره‌ای متداول، از بسیاری از اهداف توزیع هوای شسته شده برای آسایش، تخطی می‌نمایند؟
۱۵. پنج نوع مختلف از مجاری هواکش به کار رفته برای هوای شسته شده استفاده شده را نام ببرید. از کدام یک در سرسراها استفاده می‌نمایند؟ در گوشه‌های آن سرسراها؟
۱۶. چگونه دریچه‌های مشبک تخلیه کوچک سقفی، توزیع هوای شسته شده را در اتاق‌ها بهبود می‌بخشند؟ توضیح دهید. مزایای دیگر آن را نام ببرید.
۱۷. چگونه فن‌های سقفی یا دیگر فن‌های گردشی جداگانه می‌توانند آسایش را در تاسیسات سرمایش تبخیری مستقیم افزایش دهند؟ حالات ممکن و مکان‌های داخلی را پیشنهاد دهید. آیا می‌توانند در ظرفیت و توان کولر صرفه‌جویی نمایند؟ چگونه؟

فصل ۱۹

پیش سرد کن های کندانسورهای برودتی

احتمالاً ناشناخته ترین بازار سرمایه تبخیری، پیش سرمایش هوای کندانسورهای هوا-خنک سیستم برودتی است که با افزایش دمای محیط خارج در تابستان، بازده آنها به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد.

مشکلات بازده کمپرسور

هر چه هوای ورودی به کندانسورهای برودتی گرم تر باشد، فشارهای ایجاد شده توسط پیستون های کمپرسور باید بیشتر باشد تا بتواند میرد را وادار به چگالش در کندانسور نماید. این امر باعث افت بازده حجمی کمپرسور و کاهش عملکرد سرمایشی گشته و ضمن افزایش مصرف برق باعث سایش و پارگی می گردد.

بازده نسبی سرمایش برودتی به صورت معکوس با دمای هوای ورودی به کندانسور، تقریباً به صورت زیر، رابطه دارد:

بازده	دما (C)	دما (F)
۹۵٪	۲۹/۴	۸۵
۸۷٪	۳۵/۰	۹۵
۷۸٪	۴۰/۶	۱۰۵
۷۳٪	۴۶/۱	۱۱۵

در حال حاضر ممکن است در این قاره (منظور آمریکای شمالی است- مترجم) تجهیزات برودتی با ظرفیت یک میلیارد تن تبرید موجود باشد. با توجه به افزایش هزینه‌های برق، استفاده از کندانسورهای پیش سرد شده با هوا می‌تواند برای دهه‌های آتی امیدبخش باشد.

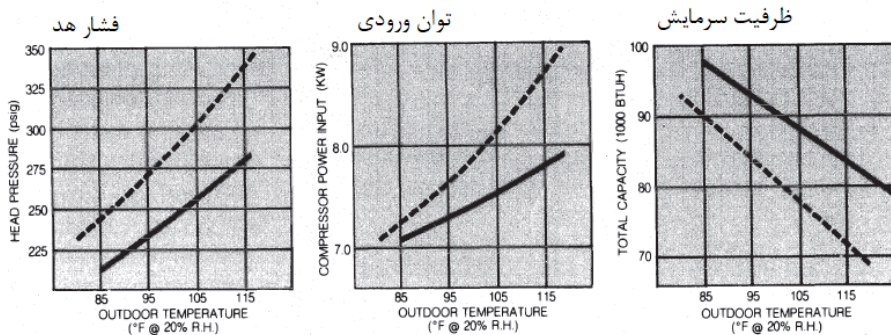
ارتقای بازده کمپرسور

در دوره ۱۹۴۰ تا ۱۹۷۰ که قیمت برق کم یا نزولی بود، کندانسورهای هوا-خنک با هزینه‌های اولیه و تعمیرات و نگهداری بسیار کمتر، تقریباً جای سیستم‌های آب-خنک و کندانسور تبخیری و برج خنک‌کن را در حوزه‌های برودتی با ظرفیت کوچک و متوسط گرفته بودند. میانگین مصرف برق بالاتر، در مقابل قابلیت اطمینان بالاتر و نگهداری و تعمیرات کمتر، آن‌ها را مطلوب می‌ساخت.

کاربران که از شیرهای آب بد فرم کندانسور، کندانسورهای آب-خنک و تبخیری مسدود شده با آهک، پمپ‌های آب یخ زده در زمستان و استهلاک برج‌های خنک‌کن افشاندن آب بر روی محیط اطراف خسته شده بودند، مشتاقانه کندانسورهای هوا-خنک را می‌خریدند.



شکل ۱- یک پیش‌سردکن تحقیقاتی برای کندانسورهای برودتی هوا-خنک. این پیش‌سردکن، برای اتصال راحت، در اندازه‌های مختلفی ساخته شده و دارای ماده واسطی از آلومینیوم بافته شده با نام تجاری Coolpad هستند. این پیش-سردکن‌ها توسط آب تازه غیر گردشی خیس می‌شوند که به صورت پالسی تحویل شده و مقدار آن به طور مستقیم با درجه حرارت خشک محیط بیرون تغییر یافته و باعث صرفه‌جویی در آب می‌گردد. همانند اغلب پیش‌سردکن‌ها، آن‌ها تنها در دمای بالای ۸۵ F (۲۹/۴ C) کار کرده و باعث صرفه‌جویی در مصرف برق و کاهش فرسایش کمپرسور می‌گردند.



شکل ۲- صرفه‌جویی‌های گزارش شده در اثر استفاده از پیش‌سردکن بر روی کولر ۷/۵ تن با مبرد R-22. خطوط تو پر عملکرد را با پیش‌سردکن و خطوط شکسته عملکرد بدون آن را نشان می‌دهند. فشار هد، نشانگر کارایی و فرسایش کمپرسور؛ توان ورودی نشانگر هزینه‌های عملکردی مستقیم، و ظرفیت سرمایش نشانگر صرفه‌جویی در سرمایه‌گذاری تجهیزات است. صرفه‌جویی‌های متوسط سالانه برق در نواحی خلیجی و شرقی ۵ تا ۱۰ درصد و در نواحی خشک غربی تا ۲۰ درصد است.

در حال حاضر، هزینه‌های رو به افزایش برق فرآیند را معکوس نموده و نیاز به کندانسورهای با بازده بالا را افزایش داده است. هرچند، میلیون‌ها تن از تجهیزات برودتی و تهویه مطبوع هواخنک که تاکنون نصب شده‌اند را به آسانی نمی‌توان به سیستم‌های چگالشی قدیمی‌تر تبدیل نمود. اینگونه تبدیل‌ها ممکن است به مقدار سیستم‌های جدید هزینه‌بر بوده و تاخیر و زمان از کار افتادگی معادلی داشته باشند. ساده‌ترین راه حل این است که هوای بیرون را، پیش از ورود به کندانسور هوا-خنک موجود، به صورت تبخیری سرد نمود. این امر بازدهی معادل با یک سیستم "مرطوب" خوب نخواهد داشت اما مشکلات را برطرف می‌سازد. بدین ترتیب می‌توان بدون بدون قطعی قابل ملاحظه، عمل نصب را انجام نموده و در مصرف برق تابستانی صرفه‌جویی نمود.

پیش‌سردکن‌های هوای کندانسور

پدهای تبخیری واقع در خارج از سمت‌های ورودی هوای کندانسورها، هوای خارجی کشیده شده عبوری از خود را خنک نموده و همچنین فشارهای داخلی چگالش و در نتیجه کار کمپرسورها و موتورها را کاهش می‌دهند. (به شکل ۱ این فصل مراجعه کنید).

بدین وسیله صرفه‌جویی‌های مهمی صورت می‌گیرد. نخست این که چون ظرفیت‌های سرمایشی نیز افزایش می‌یابند، کمپرسورهای کوچک‌تر می‌توانند حداکثر بارهای سرمایشی را پشتیبانی نمایند. این امر سرمایه‌گذاری و فضای لازم و هزینه‌های سیم‌کشی را کاهش می‌دهد. و در نهایت کمپرسورها،

می‌توانند به تعمیرات کمتری نیاز داشته و دوام بیشتری داشته باشند. (به شکل ۲ این فصل مراجعه کنید).

به جز در هنگام باران و مه، این‌گونه پدها همواره هوا را چند درجه خنک می‌نمایند. بنابراین، برای بیشترین صرفه‌جویی، استفاده از پیش‌سردکن‌ها در تمام فصل‌های سرمایشی منطقی به نظر می‌رسد. به دلیل این که تمامی پدها، لزوماً جریان هوا از درون کندانسورها را کاهش می‌دهند، لذا پیش‌سرمایش آن‌ها حتی در آب و هوای معتدل تاوان کمی دارد.

البته، در برخی سیستم‌های برودتی، به ویژه در حالاتی که کویل‌های اوپراتور به دور از کمپرسور و کندانسور هستند، این‌گونه کارکرد در آب و هوای خنک می‌تواند کندانسور را "مافوق سرد" نموده و فشاری که سیال مبرد را از وسیله انبساط (لوله موئین) عبور می‌دهد را کاهش دهد. این کار ظرفیت سرمایش را کاهش داده و بر طبق گزارشات می‌تواند به کمپرسور آسیب برساند، در نتیجه اکثر پیش‌سردکن‌ها به‌گونه‌ای تنظیم می‌شوند که تنها در صورت افزایش دمای محیط از ۸۰ یا F ۸۵ (۷/۲۶ تا C ۴/۲۹) عمل نمایند.

ایده پیش‌سردکن جدید نیست. البته، پدهای پوشالی و آبی-پرتابی مقاومت زیادی در برابر جریان هوا دارند. بنابراین، تا زمانی که مواد واسط صلب کم مقاومت با نام تجاری Coolpak و Munters پدید آمدند، پیش‌سردکن‌های کمی مورد استفاده قرار گرفتند. هنگامی که مولف یکی از آن‌ها را ساخت، از یک شبکه پارچه‌ای بسیار متخلخل استفاده نمود.

برخی سازندگان کوچک، بسته‌های (کیت‌های) دارای افشانه‌های آبی را فروخته‌اند که اساساً کندانسورهای عادی را به کندانسورهای تبخیری زمخت تبدیل می‌نمایند. این کندانسورها را نمی‌توان توصیه نمود. در این کندانسورها، کویل‌ها و پره‌های کندانسور با آهک و گرد و غبار پوشیده خواهد شد و ممکن است افشانه باعث زنگ زدگی فن‌ها و دیگر قطعات گشته، به موتورها و قطعات الکتریکی آسیب رسانده یا آن‌ها را خاموش کند.

البته ممکن است تمام کندانسورهایی که در فضای بیرونی نصب می‌شوند، قطرات باران را به داخل خود بکشند، اما باران دارای مواد معدنی کافی برای بر جای گذاشتن رسوب نیست. به علاوه، بر خلاف افشانه اتمیزه شده پر فشار، این‌گونه قطرات سنگین به ندرت به قطعات آسیب‌پذیر می‌رسند.

پیش‌سردکن‌های قابل قبول، در سرعت‌های هوایی کار می‌کنند که نمی‌توانند آب را به طرف کندانسور بدمند. نصب پیش‌سردکن‌ها با مساحت وجه (رخ) یکسان معمولاً ایمن است. البته در حالتی که سرعت هوای کندانسور بالا است، مساحت‌های سطح پد باید متناسب با آن افزایش یابند. برای کندانسورهای سرعت بالا، گاهی اوقات دو یا حتی سه پانل پیش‌سردکن، به صورت موازی، به کار می‌روند.

پیش‌سردکن‌های برودتی تجاری

سوپرمارکت‌ها، هتل‌ها، متل‌ها، رستوران‌ها و اماکنی از این قبیل، از گذشته تمام دستگاه‌های چگالشی هوا-خنک ممکن را به صورت گروهی در اختیار داشته تا توان یخچال‌ها، فریزرها و کولرهای مختلف آن‌ها، معمولاً از طریق "کمپرسورخانه" یا "موتورخانه" کوچک واقع در پشت ساختمان یا در پناه‌گاه-های جعبه‌ای واقع در فضاهای زیر شیروانی و بر روی بام‌ها تامین شود. این امر باعث صرفه‌جویی در فضای کاری شده، گرما و سر و صدای داخلی را کاهش داده و سیم‌کشی و لوله‌کشی سیستم برودتی و تعمیر و نگهداری کمپرسور را متمرکز می‌سازد. جداسازی این واحدهای چگالشی از فضای خنک شده، بارهای تهویه مطبوع را به میزان چندین تن کاهش می‌دهد.

به دلیل اینکه وسایل برودتی به کار رفته معمولاً نیازمند دستگاه‌های چگالشی جداگانه‌ای هستند، ممکن است این موتورخانه‌ها ۱۰ تا ۳۰ عدد از آن‌ها را در خود جای دهند که هر یک دارای ظرفیت ۰/۵ تا احتمالاً ۸ تن (۶/۳ تا ۱۰/۱۳ kJ/hr) بوده و غالباً با موتورهای دو یا چند اسب بخار کار می‌کنند. اغلب این دستگاه‌ها، کندانسورها و فن‌های کندانسور خود را دارند. بسیاری از کمپرسورهای "دما پایین" فریزرها نیز دارای فن‌های جداگانه‌ای می‌باشند که سرسیلندره‌های گرم‌تر آن‌ها را خنک می‌کنند.

برای دفع حرارت از تمام آن ماشین‌آلات، اغلب کمپرسورخانه‌ها دارای اگزوز فن‌های نوع پروانه‌ای هستند که هوای بیرون را از آن‌ها دریافت کرده و این کار توسط ترموستات کنترل می‌گردد. در بهترین حالت، دمای این هوا برابر با دمای محیط بیرون است که در تابستان برای خنک‌سازی کندانسورها به هیچ وجه مناسب نیست.

گاهی اوقات برای نصب کمپرسورها در طبقه همکف، کندانسورهای آن‌ها در موتورخانه‌های جداگانه‌ای در طبقه بالای آن‌ها نصب می‌گردد. این کار بار حرارتی را تقسیم می‌کند، بنابراین دو مجموعه از اگزوز فن‌ها این بار را دفع می‌نمایند. تعمیرکاران کمپرسورها و کنترل‌ها، تمایل به کار در خارج از محیط پر سر و صدای فن‌های بزرگ دارند. برخی دستگاه‌های چگالشی طوری در موتورخانه‌ها نصب می‌شوند که کندانسورهای آن‌ها در سمت دیوارهای خارجی قرار دارند، در نتیجه اگزوز فن‌ها مستقیماً هوا را به درون خود می‌کشند. با حذف فن‌های کوچک اصلی کم بازده کندانسور، هزینه‌های کل برق فن به حداقل می‌رسد.

برخی موتورخانه‌ها دارای چیدمانی هستند که می‌توانند گرمای زمستان را نیز تامین نمایند. در این موتورخانه‌ها، هوای ورودی دچار خفگی شده و هوای خروجی نیز برای پیش‌گرمایش آب مصرفی یا حتی اتاق‌ها مصرف می‌شود.

متاسفانه، درجایی که موتورخانه‌ها یا ورودی‌های هوای آن‌ها بر روی بام‌های تخت بزرگ قرار دارند، ممکن است دمای هوای ورودی آن‌ها در تابستان به 135 F ($57/2\text{ C}$) برسد که باعث افت عملکرد و افزایش هزینه‌های برق و فرسایش موتور و کمپرسور می‌گردد. بدتر این که، بسیاری از این سیستم‌ها، بزرگتر از ظرفیت مورد نیاز طراحی شده‌اند تا بتوانند شرایط اوج مصرف را تحمل کنند که در نتیجه منجر به هدر رفتن سرمایه، از دیدگاه توانایی‌های پیش سرمایه‌ش، می‌شود.

برخی موتورخانه‌ها، که اغلب در جنوب غربی ایالات متحده قرار دارند، مجهز به کولرهای آبی یا کولرهای تبخیری پانلی هستند که هوای ورودی را خنک می‌کنند. وقتی هوای تهویه مطبوع شده استفاده شده (کهنه) از طریق آن‌ها به محیط بیرون تخلیه می‌گردد، تعداد محدودی از محل‌ها خنک می‌شوند. هرچند، شاید ۹۵ درصد یا بیشتر فاقد سرمایه‌ش بهتری نسبت به سرمایه‌ش با هوای بیرون هستند.

بنابراین یک بازار بزرگ برای پیش سردکن‌ها، مربوط به سوپرمارکت‌ها، هتل‌ها، مسافرخانه‌ها، رستوران‌ها و غیره است. به دلیل اینکه تمام دستگاه‌های چگالشی به ندرت به طور همزمان به کار می‌روند، ممکن است بارهای طراحی نصف مجموع بار نامی باشند. برای خنک کردن آن‌ها باید کولرهای پانلی دارای نصب آسان بوده و از آگزوز فن‌های موجود استفاده کنند. بر خلاف دیگر موارد مرتبط با پیش سرمایه‌ش که در ادامه به آن‌ها پرداخته خواهد شد، مکان‌های بالای بام، تخلیه پساب راحتی دارند. پساب می‌تواند از طریق مجاری آب باران به فاضلاب تخلیه شود یا می‌تواند در راستای پشت به باد ورودی هوای موتورخانه، به صورت حوضچه بر روی بام‌ها بماند، تا حرارت خورشیدی را دفع کند.

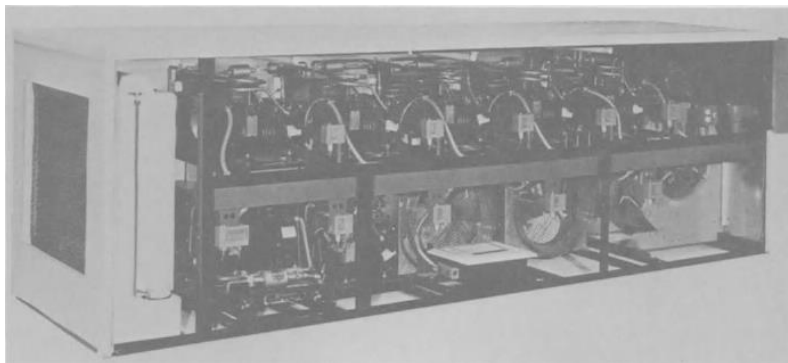
یک سازنده، برای استفاده بر روی بام یا محیط‌های خارجی دیگر، موتورخانه‌های کاملی را به صورت یک قفسه فولادی مکعب‌مستطیلی با لوله‌کشی و سیم‌کشی آماده به همراه واحدهای چگالشی و کولرهای مستقیم می‌فروشد. در یکی از اندازه‌های این سیستم، تا حداکثر هشت واحد چگالشی کوچک، به صورت ۴ عدد در بالا و ۴ عدد در پایین، طوری جا داده شده‌اند که به راحتی بتوان سرویس‌کاری نمود. سرپوش فوقانی، از فایبرگلاس عایق‌بندی شده تشکیل شده است. دیواره‌ها از فلز مقاوم در برابر خوردگی ساخته شده‌اند که طوری چیده می‌شوند که به آسانی جدا شوند. واحدهای چگالشی، حاوی فن‌های کندانسور و کنترل‌ها بوده و دارای وسایلی هستند که به صورت چرخه‌ای روشن و خاموش می‌شوند (به شکل‌های ۳ و ۴ مراجعه کنید).

به دلیل اندازه مناسب موتورخانه قفسه‌ای، بسیاری از گل‌فروشی‌ها، آزمایشگاه‌های پزشکی، داروخانه‌ها و مغازه‌های غذایی کوچک از آن استفاده می‌نمایند. از طریق کولرهای آبی کنترل شده توسط ترموستاتی که به صورت طولی از میان محفظه‌ها یا به شیوه مشابه از طریق پدهای با ماده واسط

صلب کنترل شده می‌دمند و در یک سر قرار دارند و اگزوز فن‌های گریز از مرکزی که در سر دیگر واقع هستند، پیش‌سرمایش صورت می‌گیرد. در هر دو روش، محفظه‌ها با هوای شسته شده خنک پر می‌شوند که توسط فن‌های مختلف کندانسور، بر حسب نیاز این هوا از میان کندانسورها و همچنین کمپرسورها و موتورهای عبور داده می‌شود تا آن‌ها را خنک کند.

با توجه به این که کاهش فشارهای چگالشی، ضمن افزایش ظرفیت‌های سرمایشی، در برق مصرفی کمپرسور نیز صرفه‌جویی می‌کند، موتورخانه‌های خنک شده امکان استفاده از واحدهای چگالشی کوچک‌تر را فراهم آورده و در عین حال این واحدها زمان راه‌اندازی و فرسایش را کاهش می‌دهند. در صورتی که واحدهای چگالشی از فضای تهویه شده منتقل شوند، ممکن است هزینه‌های سرمایش ساختمان مربوطه نیز کاهش یابند. این گونه سیستم‌ها می‌توانند از طریق بازبایی گرمای هدررفته، موجب گرمایش شوند. با قطع آب تبخیری، هوای داغ کندانسور یا یک هوای گرم دیگر می‌تواند آب داغ داخلی را پیش‌گرم نموده یا حتی در صورت امکان فضای زندگی را گرم نماید.

علاوه بر استفاده‌های مذکور، تقریباً تمام واحدهای چگالشی برودتی خارجی که توانی بیش از ۲ یا ۳ اسب بخار دارند و در تابستان کار می‌کنند را می‌توان در صورتی که آب و تخلیه آن اجازه دهند برای پیش‌سردکن‌ها مد نظر قرار داد.



شکل ۳- یک موتورخانه قفسه‌ای برودتی تجاری با لوله‌کشی آماده با نام تجاری Eltec با پیش‌سرمایش به صورت ماده واسط صلب برای هوای چگالشی که رویه آن برداشته شده است. پیش‌سردکن هوای کندانسور (سمت چپ)، اگزوز فن گریز از مرکز (سمت پایین - راست)، هوای شسته شده تقریباً بهینه‌ای را برای واحدهای چگالشی هوا-خنک کوچک فراهم می‌کنند. پدها برای پنج سال تحت گارانتی هستند. همچنین برای تسهیل در تعمیرات، در این موتورخانه تمام واحدهای برودتی کوچک در یک محل متمرکز شده‌اند.

پیش سردکن‌های کندانسورهای تهویه مطبوع

واحدهای تبرید تجاری فوق، اغلب دارای ظرفیت بسیار کمی هستند. البته، واحدهای چگالشی تهویه مطبوع هوا-خنک تکی می‌توانند هر یک تا ۱۵۰ تن (1899 kJ/hr) ظرفیت داشته و دارای آرایش‌های مختلفی باشند. در جایی که پدهای پیش سردکن عمودی ساده می‌توانند در ۹۰ درصد کندانسورهای متوسط و بزرگ به کار روند ولی در بسیاری از واحدهای کوچک و برخی واحدهای بزرگ نیاز به انطباق خاصی است (به شکل ۵ این فصل مراجعه کنید).

بسیاری از واحدهای چگالشی ساختمان‌های مسکونی کوچک، برای حفظ مساحت حیاط و به حداقل رساندن گردش مجدد هوای خروجی و پخش صدا طراحی شده‌اند. با شکل‌دهی واحدهای چگالشی به صورت برج‌های دایروی یا مربعی، آن‌ها هوا را از تمامی وجوه به داخل کشیده و آن را از بالا به بیرون تخلیه می‌نمایند. برخی دیگر به شکل نعل اسبی و دارای کندانسورهای منحنی هستند که هوا را از هر سه سطح به داخل مکیده و آن را به سمت بالا می‌فرستد. به دلیل این که تمام پدهای پیش سردکن‌ها کما بیش تخت هستند، پیش سرمایش برای تمامی این نوع کندانسورها ممکن است نیازمند دو یا سه عدد از این پدها، محفظه‌های ساخته شده از ورق فلزی و پانل‌های دسترسی برای تعمیرکاران باشد.

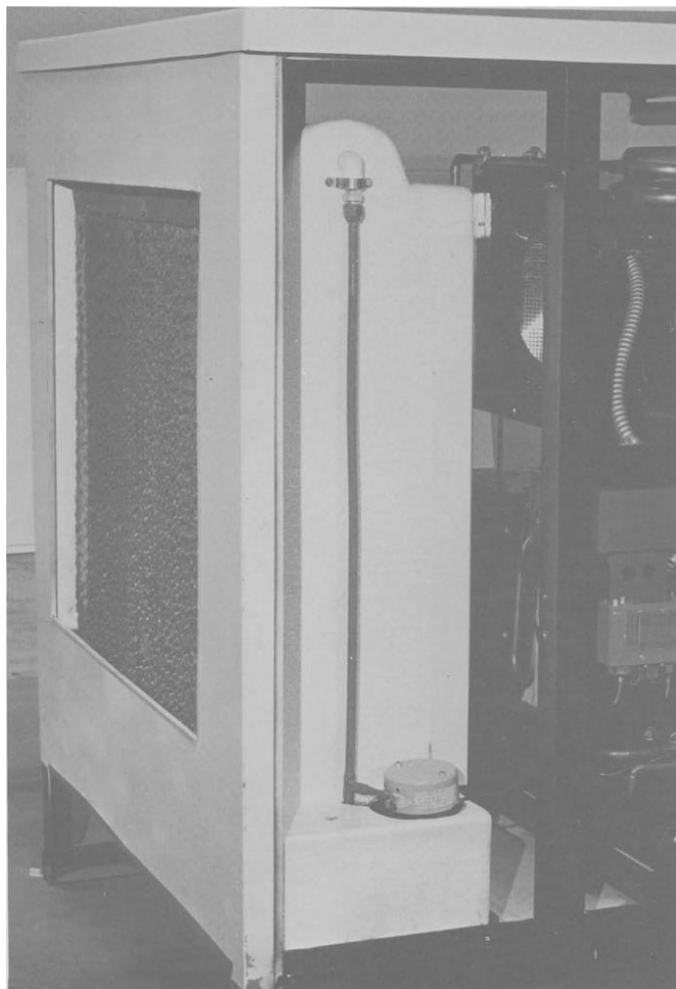
برخی کندانسورهای بزرگ، در ارتفاع چند فوت از بالای سطح زمین، به صورت افقی با فن‌های پروانه‌ای بزرگ با دمش رو به بالا نصب می‌شوند. نصب پیش سرمایش نیازمند این است که دیواره‌های پد در اطراف پایه‌های باز بوده و دریچه‌های بازدید برای دسترسی در پایین قرار بگیرند (به شکل ۶ این فصل مراجعه کنید).

خوشبختانه، اغلب واحدهای چگالشی خارجی یا سقفی متوسط تا بزرگ مستلزم محفظه‌های مکعبی برای کمپرسورها و صفحه کلید به همراه کویل‌های کندانسور پره‌دار، مستطیلی و تخت هستند که بر روی یک یا چند دیواره قرار گرفته و آگزوز فن‌های پروانه‌ای آن‌ها بر روی بام نصب شده‌اند. افزودن پیش سردکن‌ها معمولاً ساده است (به شکل ۷ مراجعه کنید).

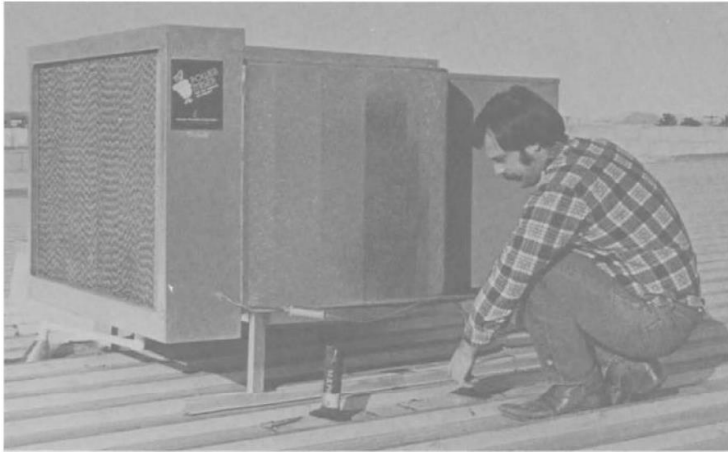
پیش سردکن‌های موجود و صرفه‌جویی در انرژی

یکی از تولیدکنندگان معروف پیش سردکن‌ها، از پدهای تخت ۶ اینچی Coolpak متشکل از چندین لایه نازک آلومینیوم با پوشش ویژه، چاک‌دار و گسترده استفاده می‌نماید. این پیش سردکن‌ها، با نصب در چهارچوب پلاستیک PVC، مقاومت کمی در برابر جریان هوا ایجاد نموده و قادر هستند هوا را تا ۵۰ درصد افت دمای مرطوب ورودی آن در سرعت ورودی ۴۰۰ فوت بر دقیقه ($121/9 \text{ m/min}$)

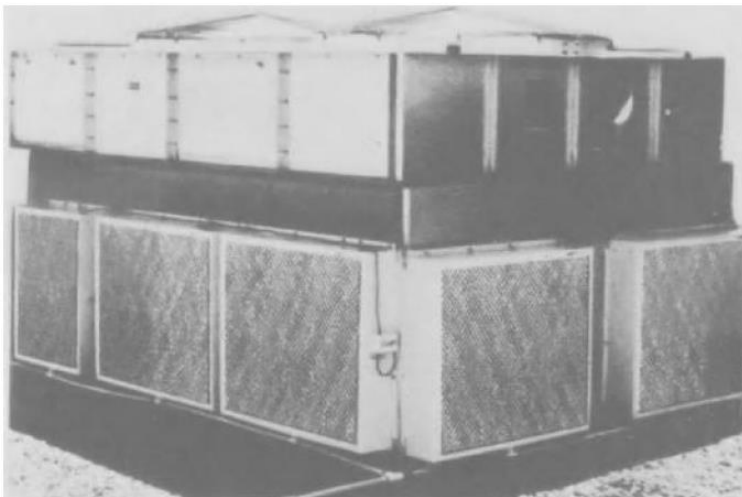
خنک نمایند. آن‌ها تا سرعت ۵۰۰ فوت بر دقیقه (۱۵۲/۴ m/min)، در برابر پرتاب آب به بیرون مقاوم هستند. هنگامی که سرعت در رخ کندانسور بالاتر است، سطوح پیش‌سردکن متناسب با آن افزایش می‌یابند.



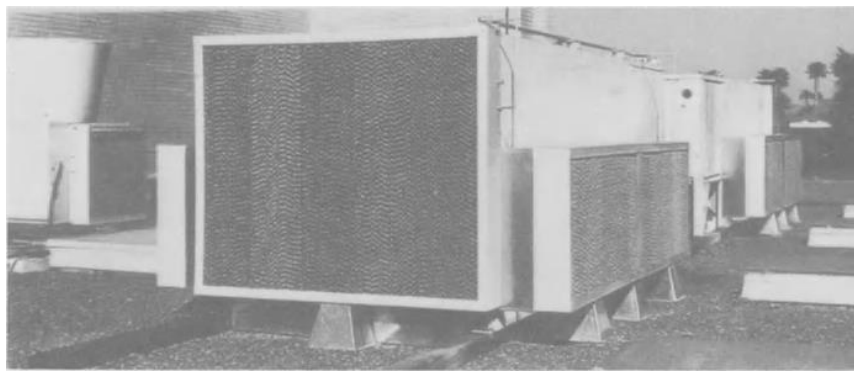
شکل ۴- پیش‌سردکن هوا در چارچوب قفسه مانند سیستم برودتی با نام تجاری Eltec. پد واسط صلب (سمت چپ) با استفاده از پمپ‌های گردشی (سمت راست-پایین) مرطوب نگه داشته می‌شوند. واحدهای چگالشی درون این چارچوب وسایل مختلف جداگانه‌ای را با فاصله از راه دور سرد می‌کنند. فن‌های کندانسور مطابق با بارهای تکی هر وسیله، هوای شسته شده را از طریق کندانسورها عبور داده و بر اساس نیاز روشن و خاموش می‌شوند. هوای شسته شده، کمپرسورها و موتورها را نیز خنک کرده، طول عمر مفید را افزایش داده و همچنین باعث صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در برق مصرفی می‌گردد.



شکل ۵- نصب یک پیش سردکن هوای کندانسور معمولی بر روی یک دستگاه تهویه مطبوع سقفی. این کندانسور تخت دستگاه تهویه مطبوع نصب آسانی دارد. البته، بسیاری از این کندانسورها هوای چگالشی را از دو، سه یا چهار طرف می‌کشند و نیاز به چند پیش سردکن جداگانه به علاوه یک محفظه فلزی دارند. در بعد از ظهرهای بی باد، دمای هوای روی سقف‌های تخت و تیره می‌تواند به 135 F ($57/2\text{ C}$) برسد که موجب افزایش فشار هد کمپرسور و ساعات کارکرد شده و بازده و ظرفیت را کاهش می‌دهد. افزایش ظرفیت‌های تجهیزات و مصرف برق آن‌ها و کاهش عمر مفید آن‌ها، پیش سردکن‌ها را بسیار مقرون به صرفه می‌سازد.



شکل ۶- کندانسورهای با جریان رو به بالا تخت افقی نیاز دارند که پایه‌های آنها به طور کامل توسط پیش سردکن‌ها احاطه گردد. در این شکل، پیش سردکن‌های با نام تجاری Energy Saver، فضای پلنوم را تحت این کندانسور بروم‌تی محصور می‌کنند. به طور متداول، این فضا، کمپرسور و دریچه‌های دسترسی را، که اغلب برای تعمیرکار در نظر گرفته می‌شود، نیز در بر می‌گیرد. فن‌های کندانسور در بالا مشاهده می‌شوند و خطوط تخلیه آب در زیر قرار دارند.



شکل ۷- دو واحد برودتی ۴۰ تن با پیش‌سردکن‌های با نام تجاری Energy Saver. تجهیزات تهویه مطبوع بزرگ دارای چیدمان‌های کندانسور مختلفی هستند که غالباً دو تا سه واحد عمودی آن، فن‌های کندانسور با جریان خروجی رو به بالا را احاطه می‌نمایند. در اینجا، دو اندازه مختلف، ورودی هوای کندانسور را از سه طرف پوشش می‌دهند. برخی کندانسورهای سرعت بالا به مساحت‌های بیشتری از پیش‌سردکن نیاز دارند. بنابراین، نصب پیش‌سردکن‌ها، غالباً مستلزم مهارت و ورق‌کاری می‌باشد.

پدها معمولاً توسط آب شهر گذرنده از شیرهای سلونوئیدی (برقی) ۲۴ ولت کنترل شده توسط ترموستات، مرطوب می‌شوند و برای به حداقل رساندن اتلاف، بر اساس دماهای هوای بیرونی T آب تازه را به صورت پالسی به درون پدها می‌دهد. مرطوب شدن در دمای ۸۵ F (۲۹/۴ C) یا بالاتر آغاز شده و توسط شیرهای سوزنی تنظیم می‌گردد که توزیع‌کننده‌های نوع فشاری واقع در بالای پد را تغذیه می‌نماید که زاویه شیب اندک بر آن‌ها تأثیری ندارد. در صورت تمایل، آب می‌تواند جمع شده و از میان پدها به گردش مجدد درآید. البته ترجیحاً از این کار صرف‌نظر شده و جریان آب به صورت غیرگردشی است.

مطابق جدول زیر، پدها در ۶ اندازه بخش‌بندی شده (مدولار) با ضخامت یکسان $6\frac{3}{4}$ in (۱۷/۱۵ cm)، مشتمل بر محفظه ساخته می‌شوند:

پهنا	ارتفاع	پهنا	ارتفاع
cm		in	
۷۶/۲*	۶۱*	۳۰*	۲۴*
۹۱/۴*	۷۶/۲*	۳۶*	۳۰*
۶۱*	۷۶/۲*	۲۴*	۳۰*
۶۱	۹۱/۴	۲۴	۳۶
۷۶/۲	۱۲۱/۹	۳۰	۴۸
۶۱	۱۵۲/۴	۲۴	۶۰

این پدها می‌توانند در قاب‌های عمودی بر روی یکدیگر قرار بگیرند تا، بر حسب توزیع‌کننده‌های آب واقع در بالا، به ارتفاع مورد نظر برسند. قاب‌ها می‌توانند در کنار یکدیگر قرار گیرند تا به پهنای مورد نظر دست یافته و برای جلوگیری از نشست هوا، هرگونه فاصله مازاد خالی گذاشته می‌شود. بنابراین، اغلب اندازه‌های حتی کندانسورهای تخت بسیار بزرگ، می‌تواند توسط پانل‌های پیش سردکن پوشانده شود. با استفاده از پانل‌های پیش سردکن چندگانه، شیرهای سلونوئیدی معمولاً سه توزیع‌کننده آب را تغذیه نموده و شیرهای سوزنی نیز یکسان‌سازی نهایی را انجام می‌دهند.

اندازه‌های معرفی شده در بالا با علامت ستاره، به صورت پدهای کامل تکی خود نگه‌دار^۱ به همراه شیرهای سلونوئیدی و ترموستات نیز موجود هستند. این واحدها برای استفاده در کندانسورهای کوچک یا برای استفاده در هر جای دیگر مثل: کولرهای مورد استفاده در موتورخانه، صرفه‌جوهای آب و هوای خشک مورد استفاده در تهویه مطبوع برودتی، و مرحله مستقیم مرتبط با سیستم‌های غیر مستقیم و همچنین به عنوان بخشی از کولرهای آماده (پکیج) کوچک مناسب هستند.

در یک دستگاه تهویه مطبوع ۴۰ تن (۵۰۶/۴ kJ/hr)، بر اساس گزارشات، این پیش سردکن‌ها در دمای ۹۵ F (۳۵ C) و رطوبت نسبی ۴۰٪ موجب افزایش EER از ۹ به ۱۰/۳ شده، مصرف برق را از ۵۰ به ۴۷ کیلووات کاهش داده و ظرفیت سرمایشی را به میزان ۷ درصد، از ۴۵۰۰۰۰ به ۴۸۲۰۰۰ (۴۷۴/۵۰۸-۸/۵ kJ/hr) افزایش می‌دهند.

در سال ۱۹۸۰، آزمایشات بر روی یک تاسیسات کوچک‌تر در Phoenix صرفه‌جویی در انرژی را به صورت زیر ارائه نمود:

صرفه‌جویی مورد انتظار در انرژی	شرایط محیط		
	رطوبت نسبی	دمای خشک	
%	%	C	F
۲۰	۲۵	۳۲/۳	۹۰
۲۱	۲۳	۳۵	۹۵
۲۴	۱۸	۳۷/۸	۱۰۰
۳۱	۲۰	۴۰/۶	۱۰۵
۳۳	۱۳	۴۳/۳	۱۱۰
۳۶	۱۰	۴۶/۱	۱۱۵

در کاربردهای تجاری و خانگی که در آن شرکت‌های برق هزینه‌های انشعاب را اعمال می‌نمایند، از طریق کاهش بار بیشینه در تابستان، می‌توان تا ۲۵ درصد دیگر صرفه‌جویی نمود.

یک سازنده دیگر، پیش‌سردکن‌هایی طراحی کرده تا با متداول‌ترین واحدهای چگالشی مربوط به ۳۳ برن آلمانی یا حدود ۲۵۰۰ اندازه ممکن سازگار باشند. این پیش‌سردکن‌ها اغلب به راحتی سوار می‌شوند، تنها ۳۰ درصد نیازمند کار ورق‌کاری هستند. همه آن‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند تا سرعت ورودی هوا را تا ۴۵۰ fpm (۲/۳ m/s) محدود نمایند.

این پیش‌سردکن‌ها، از پدهای واسط صلب با ضخامت ۳ in (۷/۶ cm) در چهارچوب‌های پلاستیکی قالبی (اکستروژن شده) مجهز به توزیع‌کننده‌های خاص آب، شیرهای سلونوئیدی و تنظیمی و ترموستات‌های تنظیم شده در دمای ۸۰ F (۲۶/۷ C) استفاده می‌نمایند. میزان خیس شدن پد در زمان کارکرد، معمولاً از طریق جریان آب از میان پدها و به میزان متوسط ۱ gph (۳/۸ l/hr) به ازای هر تن است. حدود ۸۵ درصد این آب تبخیر شده و ۱۵ درصد آن نیز به هدر می‌رود. با خنک کردن هوای بیرونی به میزان ۴۵ درصد یا بیشتر، بر طبق گزارشات، هزینه‌های برق کمپرسور در حدود ۲۵ درصد کاهش یافته، هزینه پیش‌سردکن‌ها ظرف یک تا ۳ سال برگشت شده و در عین حال ظرفیت سرمایه‌ی نیز افزایش می‌یابد.

یکی از بزرگترین سازندگان تهویه مطبوع در آمریکا، پیش‌سردکن‌های تقریباً یکسانی را با ظرفیت‌های ۵ تا ۱۵۰ تن به فروش می‌رساند. این سازنده نقشه‌هایی از ایالات متحده را منتشر می‌نماید که در آن مدت زمان بازگشت سرمایه پیش‌سردکن براساس شرایط آب و هوایی نشان داده شده‌اند. شهرهای

دارای کوتاه‌ترین دوره برگشت سرمایه عبارت بودند از فونیکس (۱/۹ سال) و دنور (۲/۹ سال). بلندترین دوره‌ها هم مربوط به شیکاگو با ۷/۳ سال و واشینگتن با ۵/۲ سال بود (به شکل ۸ مراجعه کنید).

یک از سازندگان سابق پیش سردکن، از آب با گردش مجدد استفاده نمود. آب انباشته شده در محفظه (تغار) واقع در کف، مجدداً در میان پدها پمپاژ شده و برای کنترل تشکیل مواد معدنی، به صورت کنارگذر نیز ۳ تا ۵ درصد آب را دور می‌ریزد. کل مصرف آب بسیار کمتر از پیش سردکن‌های دیگر بوده و معمولاً دفع پساب به هیچ تمهیدات خاصی نیاز ندارد.

کاربرد بالا در استفاده از آب گردش مجدد شده، یک مشکل پیش‌سردکن را آشکار می‌سازد: دفع آب استفاده شده. پیش‌سردکن‌های غیر گردشی بزرگ می‌توانند روزانه ۲۵ gph (۹۴/۶ l/hr) آب را برای چندین ساعت در طول روز از خود خارج سازند. حتی پیش‌سردکن‌های کوچک نیازمند برنامه‌ریزی برای تخلیه آب استفاده شده هستند.

کندانسورهای بسیار کوچک

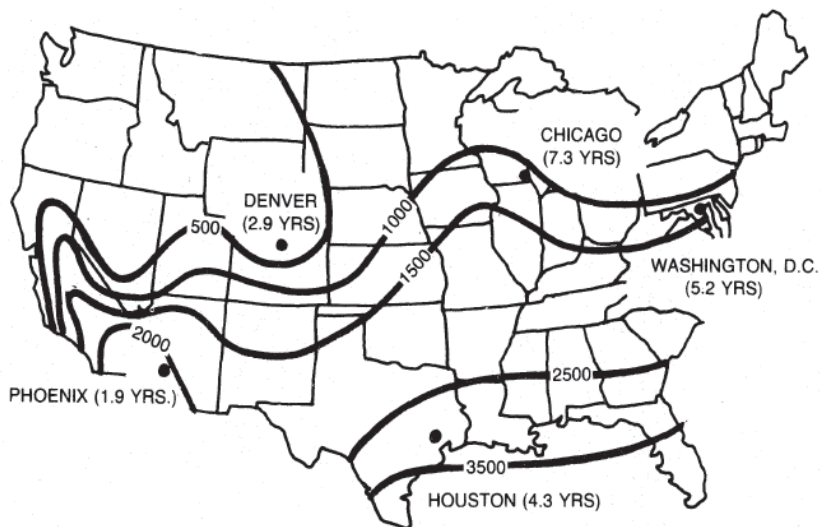
حداقل بر اساس اعداد و ارقام، اغلب واحدهای چگالشی آسیب‌پذیر در تابستان، برای استفاده آسان از پیش‌سردکن بسیار کوچک محسوب می‌شوند. پیش‌سردکن‌های کوچک مشکل‌ساز نیستند. تنها تامین آب و مجرای تخلیه، برای مثال جهت میلیون‌ها دستگاه تهویه مطبوع برودتی پنجره‌ای و یا هزاران واحد چگالشی تجاری در خارج از موتورخانه، مقرون به صرفه نخواهد بود.

پس، برای صرفه‌جویی در اندازه و وزن، بسیاری از تجهیزات تهویه مطبوع پنجره‌ای و از جمله واحدهای کوچک، دارای کندانسورهای با سرعت بالای هوا می‌باشند. بدین ترتیب به سطوح اضافی پیش‌سردکن به انضمام هزینه بالای مونتاژ و مشکلات ظاهری نیاز خواهد بود.

بنابراین به نظر بعید می‌رسد که پیش‌سردکن‌ها بتوانند در مورد میلیون‌ها ماشین سرمایه‌ی کوچک با درجه EER کوچک استفاده شده و نمونه‌های بزرگ نیز بیش از همه به پیش‌سردکن نیاز دارند. افزایش قیمت برق به طور مستقیم تجهیزات تهویه مطبوع را بیش از سیستم‌های برودتی تجاری تهدید می‌کند.

در سال‌های آتی، احتمالاً کاربران استفاده از تجهیزات تهویه مطبوع پنجره‌ای را بیش از پیش کاهش خواهند داد و از آن برای یک اتاق در یک زمان خاص یا طی چند ساعت در روز استفاده کرده، در هنگام فرسایش بسیاری از آن‌ها را تعویض ننموده و سیستم‌های سرمایه‌ی مرکزی نیز نصب نمی‌کنند. به نظر می‌رسد بسیاری از واحدهای پنجره‌ای برودتی، آینده رو به افولی داشته باشند.

تعویض آن‌ها با تجهیزات برودتی که پیش‌سردکن‌ها بر آن سوار می‌شوند نباید دشوار باشد. در صورت عدم وجود کانال‌های مرکزی، واحدهای شامل فیلتر، کویل و فن که در چند پنجره از ساختمان قرار دارند می‌توانند سرمایه‌ش لوله‌کشی شده‌ای را از واحدهای چگالشی مجهز به پیش‌سردکن دریافت نمایند که بر روی سطح زمین یا سقف قرار دارند. هر کسی که به یاد دارد که چگونه روزگاری خانه‌های آپارتمانی دارای یخچال‌های کوچک متعددی بودند که توسط یک واحد چگالشی دی اکسید گوگردی در چند طبقه پایین‌تر کار می‌کردند، اینک می‌تواند تصور کند که این سیستم بسیار راحت‌تر از سیستم‌های آب خنک یا کانالی تکمیل شده و قابل استفاده است.



شکل ۸- دوره‌های برگشت سرمایه برای پیش‌سردکن‌های ۳۰ تن با نام تجاری Trane که در اقلیم‌های مختلف، در رستوران‌های فست فود، استفاده شده‌اند. خطوط تو پر روز-درجه‌های سرمایه‌ش را از دیدگاه اقلیمی نشان می‌دهند. توجه داشته باشید که آب و هوای سرد، خشک و تابستان کوتاه شهر دنور و اقلیم گرم، خشک و تابستان بلند در سهر فونیکس نشانگر سرعت در برگشت سرمایه است. از لحاظ فنی، دوره‌های برگشت سرمایه، در طی افزایش ظرفیت سرمایه‌ش که معرف برگشت سرمایه در قالب صرفه‌جویی در هزینه برق هستند، حتی کوتاه‌تر هم می‌شوند.

کمپرسورها و پیش‌سردکن‌های بزرگ باید ضمن صرفه‌جویی در برق مصرفی، کاهش تعمیرات و افزایش طول عمر دستگاه، EERهای کلی را افزایش دهند. در آپارتمان‌های امروزی قبض برق مصرفی می‌تواند بر اساس مدت زمان استفاده ثبت شده صادر شود.

به طور خلاصه، اگر آمریکا در واقعیت یک میلیارد تن واحد چگالشی هوا-خنک نصب شده داشته باشد، حداقل نیمی از آن باید در سال‌های آتی برای استفاده از پیش‌سردکن‌ها در نظر گرفته شوند.

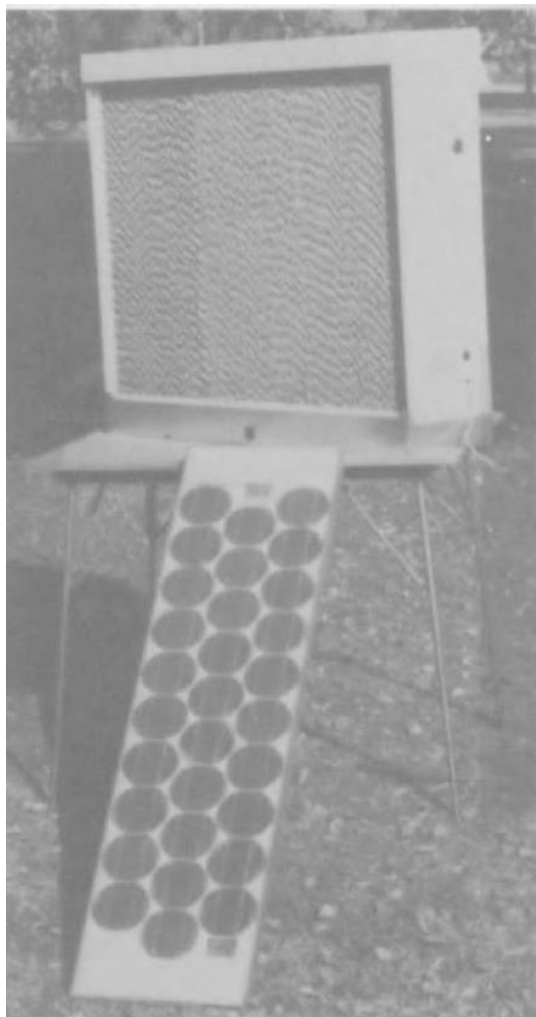
پیش سردکن‌های خورشیدی

در هنگامی که سلول‌های فتوولتائیک در پر قدرت‌ترین وضعیت خود هستند، در جایی که تامین یا دفع آب دشوار است استفاده از پمپ‌های گردشی خورشیدی برای پیش سردکن منطقی می‌باشد، زیرا بارهای چگالشی در روزهای گرم آفتابی به بیشترین مقدار خود می‌رسند. پمپ‌های با ظرفیت متداول، می‌توانند از طریق یک تا چهار پانل کار کنند که هر یک دارای توان ۴۰ وات بوده و به صورت موازی به هم متصل هستند (به فصل ۷ مراجعه کنید). بهترین حالت نصب بر روی پشت بام است و پانل‌ها باید رو به جنوب بوده و شیبی داشته باشند که از حداکثر تابش در تابستان بهره ببرند. پمپ‌های مربوط به بزرگترین پیش سردکن‌ها می‌توانند از آرایه‌های بزرگتر یا پانل‌های بزرگتری استفاده نمایند (به شکل ۹ این فصل مراجعه کنید).

یک سازنده کالیفرنایی کولرهای آبی خورشیدی با استفاده از پدهای واسط صلب، پیش سردکن‌های مناسبی می‌سازد. آزمون‌های انجام شده توسط دو دفتر ایالتی در آریزونا، صرفه‌جویی برق فصلی ۱۳ و ۱۹ درصد را گزارش داده‌است. در این گونه اقلیم‌ها، کاربران می‌توان صرفه‌جویی ۱۵ درصدی را فرض کنند که در نوادا و صحراهای کالیفرنیا شرقی به بیش از ۲۰ درصد و در سایر نقاط به مقادیر کمتر می‌رسد. در جایی که میانگین رطوبت در تابستان کمتر از ۶۵ درصد است میزان انرژی دریافتی مناسب است. از سال ۱۹۸۵، تاسیسات مطلوب از مزایای مالیات بر درآمد ایالتی و فدرال بهره‌مند شده‌اند (به فصل ۷ مراجعه کنید). گاهی اوقات از سوی شرکت‌های برق، مزایای دیگری نیز پیشنهاد می‌گردند. در همین حین، صرفه‌جویی در آب می‌تواند قابل ملاحظه باشد. سازنده فوق، این دوره‌های احتمالی برگشت سرمایه را به صورت زیر گزارش داده‌است:

Atlanta	3.2 years	Jacksonville	3.3 years
Augusta, ME	4.3 years	Las Vegas	1.5 years
Bangor	4.0 years	Manchester	3.3 years
Boston	3.5 years	Minneapolis	3.7 years
Bridgeport	4.9 years	New York City	3.5 years
Burlington	4.0 years	Oklahoma City	2.4 years
Butte	2.2 years	Omaha	3.5 years
Chicago	3.2 years	Palm Springs	1.5 years
Cleveland	3.5 years	Phoenix	1.7 years
Dallas	2.3 years	Portland, ME	4.2 years
Denver	2.0 years	Sacramento	2.1 years
Des Moines	3.3 years	Saint Louis	2.8 years
Fayetteville	2.5 years	San Diego	4.5 years
Hartford	3.7 years	Washington, D.C.	3.5 years
Indianapolis	3.5 years		

(Courtesy of the Wm. Lamb Co.)



شکل ۹- یک پیش‌سردکن خورشیدی کوچک ساخت شرکت Wm.Lamb به همراه پانل فتو ولتائیک آن. این پانل با یک زاویه کوچک به سمت جنوب نصب شده‌است و یک پمپ گردش‌دهنده را به کار می‌اندازد که باعث صرفه‌جویی در آب و به حداقل رساندن مشکلات دفع می‌گردد. باتری‌های ذخیره‌کننده، که در تجهیزات خورشیدی متداول هستند، در اینجا ضروری نیستند. عدم وجود آفتاب، که پیش‌سردکن را به طور موقت از کار می‌اندازد، در عین حال بار سرمایشی را نیز، به خصوص در اقلیم‌های خشک، کاهش می‌دهد. در این حالت واحد برودتی به کار خود ادامه داده ولی از امتیاز بهبود بازده و ظرفیت در اثر وجود پیش‌سردکن بی‌بهره می‌ماند.

به علاوه، افزایش ظرفیت در اثر وجود پیش‌سردکن، سرمایه‌گذاری‌های اولیه بر روی تجهیزات را کاهش داده و مطلوبیت دوره برگشت سرمایه را افزایش می‌دهد.

پرسش‌های دوره‌ای

۱. توضیح دهید که چرا هوای گرم محیط بیرونی وارد شده به کندانسورهای هوا-خنک سیستم‌های برودتی، خروجی سرمایشی آن‌ها را کاهش داده، طول عمر آن‌ها را کم کرده و مصرف برق آن‌ها را افزایش می‌دهد.
۲. چرا پس از حدود سال ۱۹۴۰، واحدهای چگالشی سنتی آب-خنک مغلوب واحدهای هوا-خنک شدند؟ کدام ظرفیت‌ها باعث این تغییر شدند؟ مصرف برق چه تغییری پیدا کرد؟
۳. آیا کندانسورهای هوا-خنک کنونی می‌توانند به راحتی به آب-خنک تبدیل شوند؟ چرا مالکان این تغییر را در نظر می‌گیرند؟
۴. راهکار پیش سردکن برای نزدیک کردن بازده به بازده واحدهای آب-خنک چیست؟ یک پیش سردکن معمولی را توضیح دهید. سرمایش تبخیری در کجا رخ می‌دهد؟
۵. چرا از پدهای پوشالی یا دیگر پدهای الیافی استفاده نمی‌شود؟ پدهای ساخته شده از چه جنسی به کار می‌روند؟
۶. چرا نباید از افشانه‌های آب بر روی کندانسورهای هوا-خنک استفاده شوند؟ چرا این افشانه‌ها از باران خطرناک‌ترند؟
۷. کندانسورهای هواخنک معمولاً دارای سرعت‌های ورودی هستند که منجر به ترشح آب به خارج از پدهای پیش سردکن تبخیری می‌گردند. چگونه می‌توان از این موضوع جلوگیری نمود؟
۸. موتورخانه و کمپرسورخانه چه هستند؟ در کجا یافت می‌شوند؟ چگونه می‌توانند به صورت تبخیری خنک شوند؟ سه دلیل برای اهمیت وجود آنها ارائه نمایید.
۹. پدهای پیش سردکن چگونه مرطوب می‌شوند و چه عواملی تاثیرگذار هستند؟ چرا به طور متداول از ترموستات‌ها جهت کنترل استفاده می‌شود؟
۱۰. چه بازده‌های اشباع یا سرمایشی در پیش سردکن‌ها متداول هستند و چرا بیشتر از این حد نیستند؟ چه صرفه‌جویی‌هایی در مصرف برق ادعا شده‌اند؟
۱۱. کدام سیستم‌های تبرید هوا-خنکی احتمالاً برای پیش سردکن‌ها بسیار کوچک هستند؟ آینده آن‌ها با افزایش هزینه‌های برق چگونه خواهد بود؟ چه چیزی باید جایگزین آن‌ها شود؟
۱۲. با استفاده از پیش سردکن‌های خورشیدی چه صرفه‌جویی‌هایی را می‌توان در مصرف برق انتظار داشت؟ چرا مکان‌های صحرائی باید بالاترین صرفه‌جویی را نتیجه دهند؟

فصل ۲۰

سیستم های سرمایش تبخیری غیرمستقیم

سیستم سرمایش تبخیری غیرمستقیم متفاوت از نوع شناخته شده تر مستقیم است، زیرا این سیستم هوا را از طریق تبخیر آب و بدون تماس با آن خنک نموده و بنابراین رطوبت هوای خنک شده را افزایش نمی دهد. سرمایش غیرمستقیم معمولاً حالتی تقریبی از تهویه مطبوع برودتی^۱ طی یک دمای گرم تر و با هزینه کم تر است. آینده درخشانی در پیش روی این سیستم قرار دارد.

تاریخچه

احتمالاً اولین تلاش مرتبط صورت گرفته، مربوط به اختراعی در آلمان به شماره ثبت ۱۴۸۷۶۳، طبقه بندی ۱۷d است که در سال ۱۹۰۳ میلادی به نام دکتر Willi Elfert از برلین صادر شده است. استفاده ای که از این اختراع شده نامشخص است.

در حدود سال ۱۹۲۹، قبل از اینکه سرمایش تبخیری مستقیم از وضعیت آزمایشگاهی خارج شده و پیش از این که سرمایش برودتی به صورت عملی امکان پذیر شود، ظاهراً سرمایش تبخیری غیرمستقیم توجه آزمایش کنندگان را در آریزونا^۲ و کالیفرنیا^۳ جلب نموده بود.

1- Refrigerated air conditioning

2- Arizona

3- California

با توجه به صحبت‌های Arthur Hess، رئیس پیشین جامعه آمریکایی مهندسان گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع^۱ و یک مهندس معروف تهویه مطبوع، توسعه دهندگان اصلی کالیفرنمایی این سیستم‌ها عبارت از Harold Stockly، Ralph Philips، دکتر Pernot، Lester Kelly، Louis Hess و خود او هستند. دو توسعه دهنده دیگر P.M. ("Pat") Tidmarsh از توسان^۲ در آریزونا و Oscar Palmer از فونیکس^۳ بودند. احتمالاً Palmer اولین فرد تولیدکننده این سیستم‌ها بود که در طول چند سال، هزاران مدل از سیستم "Sno-Breez" و مدل‌های مشابه آن را در آریزونا گسترش داد.

به زودی، در نزدیکی مناطق مورد توسعه، هزاران هتل، فروشگاه، اداره، خانه، مجتمع توریستی، مغازه و رستوران توسط این سیستم‌ها خنک شدند، در حالی که شهروندان نواحی دیگر هنوز چیزی در مورد سرمایش تبخیری غیرمستقیم نشنیده بودند. البته این اولین سرمایش موفق تابستانی برای خانه‌ها بود که مطالب بسیار اندکی در مورد آن نوشته شده است.

انواع مختلفی از سیستم‌های سرمایش تبخیری غیرمستقیم، در قبل از سال ۱۹۵۰ میلادی پدیدار گردیدند که شامل موارد زیر است:

۱. سیستم‌های ساده برج و کویل^۴ (سیم پیچ) با سطح خشک
۲. سیستم‌های بازیاب با سطح خشک
۳. سیستم برج و کویل بهبود یافته گافورد^۵
۴. سیستم‌های مبدل حرارتی از نوع صفحه‌ای
۵. سیستم چرخ ذخیره حرارت پنینگتون^۶
۶. سیستم‌های سرمایش غیرمستقیم لوله‌ای
۷. سیستم‌های سرمایش غیرمستقیم دو مرحله‌ای
۸. سرمایش تابشی غیرمستقیم

موارد فوق به ترتیب مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

1- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

2- Tucson

3- Phoenix

4- Coil

5- Gafford

6- Pennington

سیستم ساده برج و کویل با سطح خشک

این سیستم در حدود سال ۱۹۳۰ میلادی در آریزونا پدیدار گشت، که Oscar Palmer آن را به سرعت رایج نمود. این سیستم از برج های خنک کن با کوران طبیعی^۱، پمپ، رادیاتورهای مسی جهت خنک نمودن هوای تازه یا هوای اتاق و فن هایی که هوا را در اتاق های مورد سرمایش به گردش در می آورند، تشکیل می گردید. در اولین تاسیسات سیستم های "Sno-Breeze" از رادیاتور خودروها استفاده می شد اما سازندگان به سرعت طراحی خاصی را جایگزین نمودند.

عملکرد این سیستم ساده بود. آب از بالای برج های خنک کنی پاشیده می شد که در آن هوای بیرون به اندازه کافی مقداری از آن آب را تبخیر نموده تا دمای هوای باقیمانده را به 37 deg C یا 97 deg F پایین تر از دمای هوای خشک اولیه برساند. به طور کلی آب تا فاصله دمایی ۳ تا ۵ درجه فارنهایت ($1/7$ تا $2/8$ درجه سلسیوس) از دمای مرطوب هوا خنک می شد.

سپس آب به داخل رادیاتورهایی پمپ می شد که معمولاً چهار تا هشت ردیف لوله داشت. آب به طور معمول چندین بار (گذر) از این لوله ها عبور نموده و در خلاف جهت جریان هوای در حال سرمایش حرکت می نمود. با تکرار این عمل دمای خشک هوا تا فاصله ۳ تا ۴ درجه فارنهایت ($1/7$ تا $2/2$ درجه سلسیوس) از دمای آب ورودی کاهش می یافت. بنابراین، بسیاری از سیستم ها هوای خشک را تنها تا دمای ۶ تا ۱۰ درجه فارنهایت ($3/3$ تا $5/6$ درجه سلسیوس) بالاتر از دمای مرطوب هوای بیرون یا حتی ۳۴ درجه فارنهایت ($18/9$ درجه سلسیوس) پایین تر از دمای خشک هوای مربوط تحویل می دادند.

این سیستم ها ارزان نبودند. جهت سرمایش خانه های کوچک در آریزونا به برج های خنک کنی به ابعاد ۴ در ۸ فوت با ارتفاع تقریبی ۲۰ فوت ($1/2$ در $2/4$ در $6/1$ متر) مورد نیاز بود که در بیرون از خانه و در سمتی قرار می گرفتند که مانعی در ورود بادهای غالب وجود نداشت. پمپ هایی با حداقل توان ۳ اسب بخار آب را به سرعت در لوله کشی های لازم به گردش در آورده، از رادیاتور چندین بار عبور داده و وارد شیبوره های آب پاش واقع در ارتفاع می کردند. در منازل مسکونی، معمولاً این سیستم هوای اتاق را خنک کرده و آن را به گردش در می آورد. در رستوران ها، فروشگاه ها و سایر مکان های عمومی، متناوباً ۱۰۰ درصد از هوای تازه استفاده می شد. در هر حالت، این سیستم های سرمایشی هزینه کمتری نسبت به نوع برودتی که بعدها پدیدار شدند داشته و هزینه تعمیر و نگهداری و توان مصرفی به نسبت کمتری نیز داشتند.

نتایج بر حسب هر تاسیسات متفاوت بود اما عموماً دمای اتاق به طور متوسط ۱۰ تا ۱۵ درجه فارنهایت (۵/۶ تا ۸/۳ درجه سلسیوس) پایین‌تر از مدل‌هایی بود که در آن‌ها هوای تازه بیرون به رادیاتورها وارد می‌شد.

بنابراین، بسته به کیفیت و اندازه تجهیزات، دمای متوسط اتاق‌ها ۱۶ تا ۲۴ درجه فارنهایت (۸/۹ تا ۱۳/۳ درجه سلسیوس) بالاتر از دمای مرطوب هوای بیرون بود. در گرم‌ترین ساعات بعد از ظهر [ایالت‌های] جنوب غربی، دمای متوسط بسیاری از اتاق‌ها، ۲۰ تا ۳۰ درجه فارنهایت (۱۱/۱ تا ۱۶/۷ درجه سلسیوس) پایین‌تر از شرایط دمای خشک هوای بیرون بوده که موهبتی آشکار برای ساکنین ساختمان به شمار می‌آید.

به دلیل سادگی سیستم‌های با سطح خشک، آن‌ها تقریباً با تمامی ساختمان‌ها سازگار بوده و در مقایسه با سیستم‌های دیگر در انواع بیشتری موجود هستند. تعداد فراوانی از آن‌ها در ساختمان‌های تجاری بزرگ شامل بانک‌ها و فروشگاه‌های زنجیره‌ای، هتل‌ها و مَتل‌ها، کافی شاپ‌ها و رستوران‌ها، تئاترها و باشگاه‌های شبانه، خانه‌ها و بیمارستان‌ها نصب گردیدند.

به عنوان نمونه، در سال ۱۹۳۶ تجهیزات مربوط به این سیستم در فروشگاه مبلمان باروز^۱ واقع در فونیکس میلادی نصب گردید و در سال ۱۹۵۲ برجیده شد. این سیستم چهار برج خنک‌کن با کوران طبیعی در پشت بام داشت که هر یک ابعادی برابر ۳ در ۱۱ با ارتفاع ۲۵ فوت (۰/۹۱ در ۳/۴ در ۷/۶ متر) داشتند. برج‌ها به وسیله دو پمپ با توان ۵ اسب بخار، ۲۴ رادیاتور را تغذیه نموده که هر یک ابعادی برابر ۲ در ۵ فوت با ضخامت ۴ اینچ (۰/۶۱ در ۱/۵ متر با ضخامت ۱۰/۲ سانتیمتر) داشته و به صورت هشت ردیف سه تایی چیده شده بودند. دو دمنده با توان ۵ اسب بخار، هوا را در کویل‌ها و محوطه فروشگاه به گردش در می‌آوردند. بدین ترتیب با توان ۲۰ اسب بخار در حدود ۵۰ تن kJ/hr (۶۳۳) هوای خنک فراهم می‌گردید (در صورت جایگزین نمودن آن با سیستم برودتی، ۸۵ اسب بخار مصرف می‌گردید). در هر دو فصل لازم بود تا کویل‌هایی به ارزش ۲۰۰۰ دلار تعویض شده و متوسط سایر هزینه‌های مربوط به نگهداری در هر سال ۱۰۰۰ دلار بود.

چیدمان‌های متعددی عملکرد را بهبود می‌دادند. تاسیساتی که ۱۰۰ درصد از هوای بیرون را استفاده می‌کردند، معمولاً هوای مصرف شده در اتاق‌ها را، جهت جذب گرمای خورشید، از فضاهای زیر شیروانی خارج می‌نمودند. برج‌های خنک‌کن بلند و باریک چوبی، با چندین سکوی چوبی، بهترین نوع بودند. برخی از آن‌ها که بوسیله Ralph Phillips طراحی شدند دو مرحله‌ای بوده و در وسط، به صورت عمودی و رو به پایین، تقسیم می‌شدند. آب گرم برگشتی از رادیاتورها به پایین پاشیده شده و سپس

از طرف دیگر پایین می آید. این امر نیازمند دو پمپ بود ولی در عوض ارتفاع موثر را دو برابر نموده و آب را در حد اختلاف ۳ درجه فارنهایت (۱/۷ درجه سلسیوس) با دمای مرطوب هوای خارجی، خنک تر می نمود.

برای بهترین انتقال حرارت، آب درون رادیاتور عموماً در خلاف جهت هوا حرکت نموده و در نتیجه خنک ترین آب، گرما را از خنک ترین هوا جذب می نمود تا بیشترین اختلاف دمای متوسط لگاریتمی^۱ در حین تبادل حرارت حاصل شود. این کویل ها معمولاً ۸ ردیف لوله داشته، آب درون آن ها با سرعتی بیش از ۲۰۰ فوت بر دقیقه (۱ m/s) جریان داشته و سرعت جریان هوا در حدود ۶۰۰ فوت بر دقیقه (۳ m/s) بود.

بعدها، بسیاری از تأسیسات بزرگ دارای مراحل ثانویه کمکی کوچک برودتی برای استفاده در آب و هوای مرطوب شدند. بقیه انواع نیز دارای مراحل ثانویه سرمایش تبخیری مستقیم بودند.

مشکلات مربوط

اصلی ترین ایراد سیستم های ساده با سطح خشک، آسیب پذیری آن ها در برابر گرفتگی لوله و تشکیل رسوبات پوسته ای بود. برج های خنک کن، اغلب نه تنها در آب های به شدت قلیایی، غلظت مواد معدنی را افزایش می دادند بلکه گرد و غبار ناشی از توفان های گرد و خاک را نیز جذب می کردند. لذا آب در حال گردش در سیستم به تدریج سخت تر شده، و در لوله ها و کویل ها تولید رسوب می نمود. علاوه بر این،^۲ در حوضچه های^۳ برج خنک کن جلبک رشد نموده و موجب گرفتگی شیپوره ها و لوله ها می شد (به فصل ۷ مراجعه کنید).

در این ناحیه کم آب، داشتن یک مقدار تخلیه یا دور ریز برای آب برج های خنک کن، از نظر روان-شناسی مشکل است. استفاده از افزودنی های شیمیایی، از جمله Calgon یا Micromet (سدیم هگزامتافسفات^۴) جهت شستشوی مکرر حوضچه (تشت) برج توصیه می گردید اما این مراحل معمولاً نادیده گرفته می شدند.

متعاقباً، به ویژه در آریزونا، رادیاتورهای با لوله های کوچک به سرعت از رسوبات پر شده و بازده آن ها کاهش می یافت؛ لذا پاکسازی فصلی با اسید ضروری بود، اما موجب خرابی سریع رادیاتورها می گردید. برای امور سرویس، تمیزکاری و تعویض چنین کویل هایی، موسسات متخصی وجود دارند.

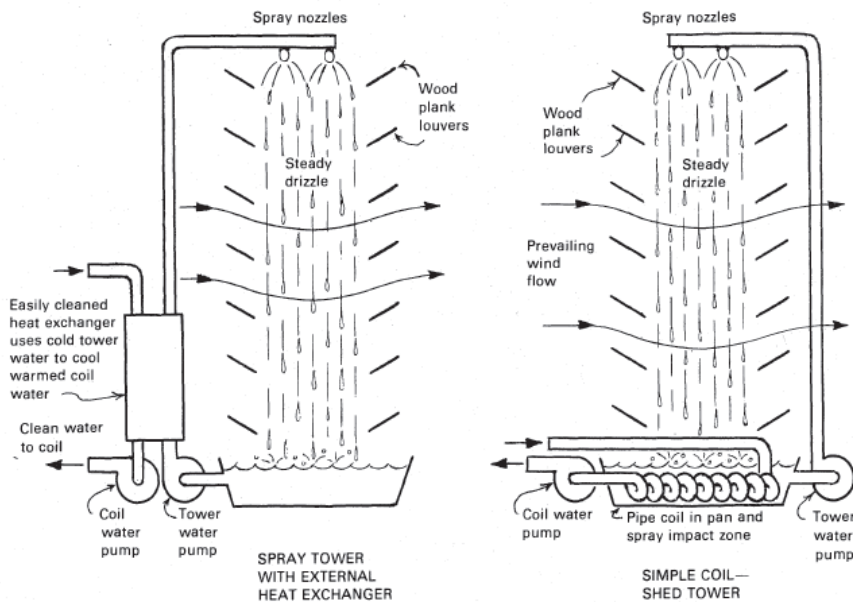
1- Log-mean temperature difference

2- Algae

3- Sump

4- Sodium Hexametaphosphate

در مناطق با آب سخت یا گرد و خاک، برج‌های خنک‌کن از نوع coil-shed بهترین عملکرد را داشتند. در این برج‌ها، کویل‌های دارای لوله‌های لختی که آب کویل‌های سرمایش هوا را انتقال می‌دادند، در داخل افشانه پاشنده مخازن (تشت) برج خنک‌کن قرار داشته و هوا را بدون آلوده نمودن آب خنک می‌نمودند. این امر پمپ‌های گردشی ثانویه را به کار گرفته و انتقال حرارت اضافی ایجاد می‌نمود، اما از تشکیل رسوب در داخل لوله‌های کویل جلوگیری می‌کرد. برای برج‌های معمولی، باید به منظور پاکسازی سالانه، کویل‌های با سطح خشک جدا و برداشته می‌شدند، که برای این منظور لوله‌های مستقیم از نوع با سر (کله‌گی)^۱ جدا شونده بهترین آنها بودند، زیرا می‌شد رسوبات آن را به راحتی با میله‌هایی از بین برد (به شکل ۱ مراجعه کنید).



شکل ۱- نمای کلی از برج‌های خنک‌کن یک سیستم بسته که برای سرمایش غیر مستقیم کویل و برج بهترین نوع است. در اینجا آب خنک و پر از مواد معدنی برج و آب در حال گردش و تمیز کویل به وسیله دو نوع مبدل حرارتی از یکدیگر جدا نگه داشته شده‌اند. این مبدل‌ها، کویل‌های داخلی را محافظت نموده اما یک مبدل حرارتی و پمپ اضافی لازم داشته و آب گرم‌تری را نسبت به سیستم‌های باز ساده‌تر تحویل داده و بنابراین در تاریخچه سرمایش تبخیری غیرمستقیم به ندرت یافت می‌شوند.

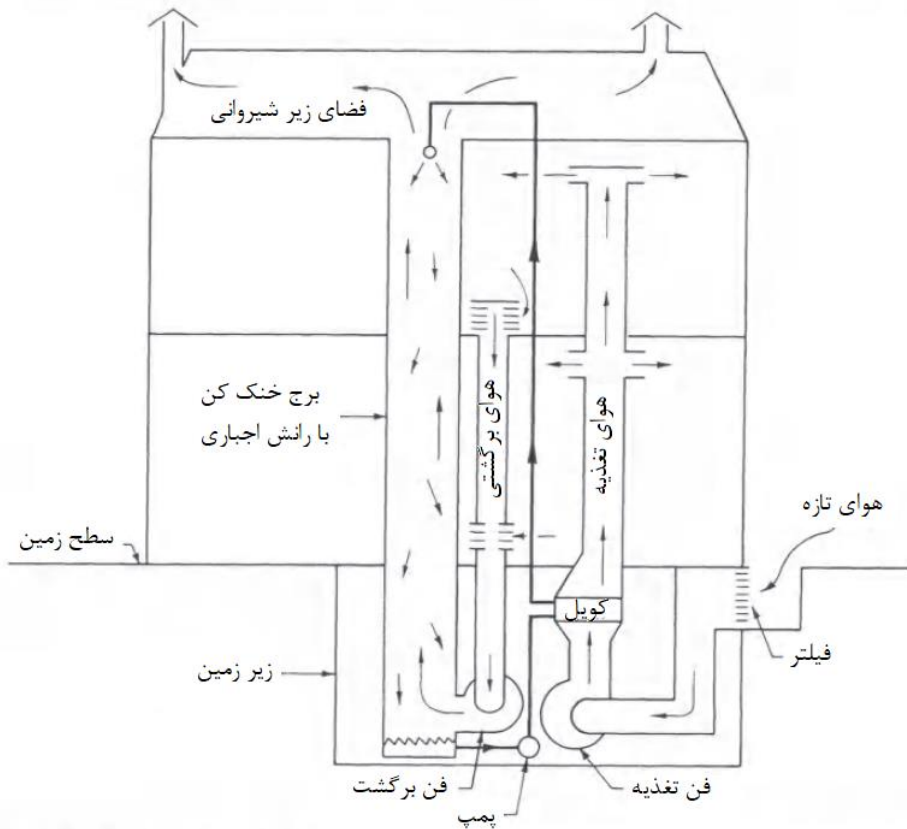
تمامی چنین سیستم‌هایی که در ابتدا در آریزونا نصب شدند امروزه از میان رفته‌اند. پدیدار شدن کولرهای آبی بسیار ارزان‌تر، برای بسیاری از این سیستم‌ها ویران‌کننده بود و پس از آن، در حین

جنگ جهانی دوم، کمبود مس موجب شد که جایگزینی رادیاتورها غیرممکن شود. همچنین این سیستم، از زیبایی ظاهری بهره‌مند نبوده و استتار برج‌های خنک‌کن در آن‌ها دشوار بود. بدین ترتیب، به هنگام بازدید مؤلف از شهر توسان در سال ۱۹۵۲، تنها دو نوع سیستم با سطح خشک باقی مانده بود.

سیستم های سرمایش بازیاب با سطح خشک

این نوع سیستم کمتر متداول بوده و با تغذیه برج‌های خنک‌کن توسط هوای خنک برگشتی از اتاق‌های تهویه شده، به سیستم‌های ساده‌تری ارتقا یافتند. در حالت ایده‌آل، هوای مزبور حداقل ۱۷ درجه فارنهایت (۹/۴ درجه سلسیوس) خنک‌تر بوده و دمای مرطوب آن ۴ تا ۸ درجه فارنهایت (۲/۲ تا ۴/۴ درجه سلسیوس) پایین‌تر از هوای بیرون بوده و در نتیجه می‌توانست آب برج را خنک‌تر نماید. سپس کویل می‌توانست هوا را تنها ۴ درجه فارنهایت (۲/۲ درجه سلسیوس) بالاتر از دمای مرطوب هوای بیرون تحویل دهد. البته به دلیل اتصالات بسیار پیچیده هوای برگشتی و برج، این سیستم برای ساختمان‌های معدودی نصب گردید. علاوه بر این، هوای برگشتی به ندرت برای چنین برج‌هایی کافی است و به هوای مکمل خارجی نیاز داشته که منجر به کاهش بهره‌وری می‌گشت.

احتمالاً موفق‌ترین سیستم بازیاب، در ساختمان اداری دانشگاه آریزونا در توسان نصب گردید که اغلب بخش‌های آن بوسیله Arthur Hess طراحی گردید و از سال ۱۹۳۶ تا ۱۹۵۲ میلادی به صورت مداوم و تا زمانی که سیستم برودتی سراسری دانشگاه جای آن را گرفت، کار می‌کرد. علی‌رغم موفقیت این سیستم، تقریباً هیچ نوشته مکتوبی در مورد آن وجود ندارد (به شکل ۲ مراجعه کنید).



شکل ۲- نمای کلی از سیستم با سطح خشک بازیاب ساختمان اداری دانشگاه آریزونا در سالهای ۱۹۳۶ تا ۱۹۵۲ میلادی که توسط Arthur Hess طراحی گردید.

همان طور که در شکل نشان داده شده است، این تأسیسات به صورت دائم در ساختمان دوطبقه ساخته شده اند. برج خنک کن، یک شفت بلند عمودی بتونی با سطح مقطع ۴ در ۵ فوت (۱/۲ در ۱/۵ متر) است که از زیرزمین شروع شده و در فضای زیر شیروانی خاتمه می یابد. همزمان با وارد شدن ۱۶,۰۰۰ cfm ($7/6 \text{ m}^3/\text{s}$) جریان هوا از پایین که اغلب هوای خنک برگشتی از اتاقها است، در حدود ۱۳۵ gpm ($8/5 \text{ l/s}$) آب به سمت پایین پاشیده می شود. آب خنک شده جمع آوری گردیده و از طریق یک رادیاتور چند ردیفه جریان مخالف (غیر هم سو) پمپ شده تا ۱۰,۸۰۰ cfm ($5/1 \text{ m}^3/\text{s}$) از هوای تازه بیرون را خنک نموده و سپس آن را در سراسر ساختمان توزیع نماید. تخلیه هوای خنک اشباع شده برج از طریق فضای زیر شیروانی صورت گرفته و به شدت از میزان گرمای خورشید وارد شده به اتاقهای پایین می کاهد.

ویژگی بازیابی موجب کسب دمای داخلی پایین‌تری نسبت به سایر حالت‌های ممکن می‌شود. هوای خنک برگشتی دمای مرطوب ورودی به برج را کاهش داده و دمای حاصل پایین‌تر آب، به شدت تاثیر انتقال حرارت را افزایش می‌دهد.

دانشگاه به صورت هفتگی سیستم را شستشو داده، به طور منظم مواد شیمیایی را اضافه می‌نمود و تنها از آب جبران تصفیه شده و بدون مواد سخت استفاده می‌کرد. تمام هوای برج، از قبل فیلتر شده، در حالی که لوله‌های رادیاتور به هنگام لزوم تمیز می‌شدند. این سیستم برای شانزده فصل به کار گرفته شد و علیرغم عدم استفاده از آن در هنگامی که مؤلف آن را در سال ۱۹۵۲ مورد آزمایش قرار داد، همچنان صحیح و سالم باقی مانده بود. دو خوابگاه دانشگاه نیز شفت‌های برج خنک‌کن با تأسیسات مشابهی داشتند، اما تجهیزاتی برای فعال‌سازی آن‌ها موجود نبود.

این سیستم چهار مزیت کلیدی داشت. نخست این که تمامی هوای تازه فیلتر شده را به داخل تحویل می‌داد که دما را حداقل ۱۵ درجه فارنهایت (۸/۳ درجه سلسیوس) پایین‌تر از دمای هوای خشک بیرون حفظ می‌نمود. دوم این که در حدود ۴۲ تن (۵۳۲ kJ/hr) سرمایه‌ش با توان ۱۷/۵ hp تولید شده و مصرف آب آن نیز از مقدار معمول در سیستم های برودتی برج خنک‌کن بیشتر نبود. سوم این که این سیستم ساده بوده و اجزای متحرک آن، دو فن گریز از مرکز و یک پمپ به شمار می‌آمدند و به همراه آن یک سیستم برودتی ۱۰ اسب بخاری جهت کمک در آب و هوای مرطوب وجود داشت که ندرتاً مورد استفاده قرار می‌گرفت و در نهایت این سیستم کاملاً پوشیده بوده و دارای اجزای بیرونی مستعد یخ‌زدگی یا تماس با آب و هوای بیرون نبود.

سیستم‌های بازیاب دیگری نیز به وسیله مهندسان پیشنهاد شده‌است (به شکل ۳ مراجعه کنید). بسیاری از آن‌ها شبیه سیستم قبلی بودند که در آن‌ها کوپل‌های سرمایه‌ش، هوای خنک شده را به برج‌های خنک‌کن تغذیه می‌نمودند. مورد توجه‌ترین آن‌ها، سیستم "سرمایش تبخیری و سطحی" بود که به وسیله William Lyle Dudley از سیاتل ارائه شد که در سال ۱۹۳۷ میلادی، مؤلف آزمایشات روی آن را در دانشگاه واشینگتن ملاحظه نمود.

طی یک تنظیم خاص، یک فن تکی هوارسان بزرگ، ۶۰ درصد از هوای برگشتی خنک و ۴۰ درصد از هوای تازه بیرون را دریافت می‌نمود. این مخلوط، از طریق یک کوپل پره‌دار چند راهه دمیده می‌شد که دمای خشک و مرطوب هوا را کاهش داده و آن را چندین درجه نسبت به دمای آب ورودی خنک می‌نمود. سپس هوای خنک شده به همان نسبت تقسیم شده و ۴۰ درصد آن وارد یک هواساز شده، که در آن آب برگشتی از کوپل بر روی آن افشاندن شده و از طریق تبخیر مجدداً خنک می‌شد. سپس

یک پمپ دوباره آب را از طریق کویل به گردش در می‌آورد و در عین حال هوای مرطوب اشباع شده به بیرون تخلیه می‌کند.

در ادامه، ۶۰ درصد هوای خنک باقی مانده از اتاق‌های در حال سرمایش عبور می‌کند، گرما را جذب می‌نمود و مجدداً به فن باز می‌گشت. در طی عملکرد ایده‌آل سیستم، هنگامی که بدون دریافت گرما از اتاق‌ها عمل می‌کند، هوا در حدود ۱۵/۱ درجه فارنهایت (۸/۴ درجه سلسیوس) پایین‌تر از دمای هوای بیرون خنک می‌شود.

در طی یک تنظیم بدون بازیابی، محفظه پاشش مخلوطی از هوای خنک نشده بیرون و هوای مستقیماً برگشتی از فن را دریافت می‌کند. این هوا در ۵/۸ فارنهایت (۳/۲ درجه سلسیوس) گرم‌تر از آن چه که به وسیله کویل‌های شرح داده شده در سیستم قبلی خنک می‌شد، وارد هواساز می‌شد اما این امر بار کویل را به نحوی کاهش می‌داد که هوای تحویل شده به فضای مورد تهویه در حدود ۱۶/۳ درجه فارنهایت (۹/۸ درجه سلسیوس) خنک‌تر از هوای بیرون بود.

از آنجایی که این تنظیم عملاً سرمایش مفید کلی را کاهش می‌داد، این نتیجه حاصل شد که پیش سرمایش هدفمند هوا برای برج‌های خنک‌کن یا هواسازها به مقدار ناچیزی موفق است. این امر در اینجا بازده و عملکرد را کاهش می‌داد.

سیستم دیگری با دو کویل سرمایش وجود داشت که توسط Carl Boester و بعدها دانشگاه پوردو^۱ ارائه گردید که در آن به منظور تقسیم آب از پمپ گردش‌دهنده، کویل‌ها به صورت موازی به یکدیگر متصل بودند. یک کویل، هوای بیرون را برای سرمایش فضاهای تهویه شده خنک می‌نمود. زمانی که هوا تبدیل به هوای برگشتی می‌شد، یک فن بزرگ آن هوا را وادار به عبور از کویل دیگر و سپس عبور از درون یک برج خنک‌کن می‌کرد که در آن آبی که کویل‌ها را ترک می‌کرد قبل از گردش مجدد خنک می‌شد. هوای اشباع شده از طریق فضای زیر شیروانی تخلیه می‌شد تا بار گرمایی خورشید را کاهش دهد.

در اثر این امر، کویل دوم، گرمایی را که هوا در طی عبور از فضای اتاق و فن جذب نموده را دفع می‌کرد و آن را به شرایطی که توسط کویل اولیه ایجاد می‌شد، بازیابی می‌نمود. در نتیجه، اساساً این سیستم، اغلب خروجی برج خود را جهت پیش سرمایش هوای برج خود استفاده کرده و سرمایش مفید یک محصول جانبی به شمار می‌رفت.

این سیستم احتمالاً هرگز آزمایش نشد اما محاسبات Boester نشان داد که این سیستم هوا را در دماهای پایین تر از دمای مرطوب خنک می‌نماید. هزینه‌های کارکرد این سیستم نامشخص است.

یک سیستم بازیابی متفاوت که به وسیله Arthur Hess معرفی گردید، اثرپذیری خود را با دو مرحله-ای ساختن آب برای پاشش و کوپل نشان داد. این سیستم، دمای آب را با سرمایه‌گذاری نصف آن تا ۵ درجه فارنهایت (۲/۸ درجه سلسیوس) به جای دامنه خنک‌کنندگی^۱ ۱۰ درجه فارنهایت (۵/۶ درجه سلسیوس) کاهش داد تا در نتیجه تقرب^۲ بیشتری به دمای مرطوب بیرون نماید. اینکه آیا امکان ایجاد دماهای پایین تر از مقدار فوق وجود دارد، نامشخص است.

همان طور که مثال‌ها نشان می‌دهند، بسیاری از سیستم‌های برج و کوپل بازیابی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. تمامی آن‌ها از نظر فیزیکی دچار چالش شدند زیرا هرگونه پیش سرمایه‌گذاری که دمای هوای خشک را پایین آورد معمولاً دمای مرطوب متناظر را تنها در حدود ۰/۲ تا ۰/۳ آن کاهش می‌دهد. بنابراین به جز در حالتی که نقطه شبنم بسیار پایین باشد، چنین مقدار بازیابی به هزینه‌های آن نمی‌ارزد(به شکل ۳ مراجعه کنید).

در حالی که از نظر تئوری، از طریق بازیابی مرحله‌ای، هوا یا آب می‌تواند تا نقطه شبنم خنک شود، ولی به نظر می‌رسد که در اثر محدودیت عملی، مقدار آن در حد وسط بین دمای مرطوب و نقطه شبنم قرار دارد.

سیستم سرمایه‌گذاری غیرمستقیم گافورد

در دهه ۱۹۴۰ میلادی یک سیستم منحصر به فرد به وسیله پروفیسور B.N. Gafford از دانشگاه تگزاس^۳ در شهر آوستین^۴ توسعه پیدا کرد. از آنجایی که این سیستم در سقف ساختمان مسکونی اولیه بسیار مؤثر و مفید واقع شد، بعداً به خانه‌ای در نزدیکی دریاچه آوستین منتقل گردید. در آنجا این سیستم تماماً در معرض رطوبت ناشی از دریاچه و همچنین ناشی از سقف مسطح خانه جدید قرار داشت که جهت محافظت در برابر گرمای خورشید، به عمق ۱۲ اینچ (۵/۱ سانتی متر) در آبی قرار داشت که کاملاً کولر را احاطه کرده بود (به شکل ۴ مراجعه کنید).

مؤلف، این سیستم را در سال ۱۹۵۳ میلادی در آنجا مورد آزمون قرار داد. دو کوپل بزرگ مسی دارای سطح خشک که از آب پُر شده بودند، به صورت سری به یک پمپ^۱ اسب بخار متصل بودند که به طور

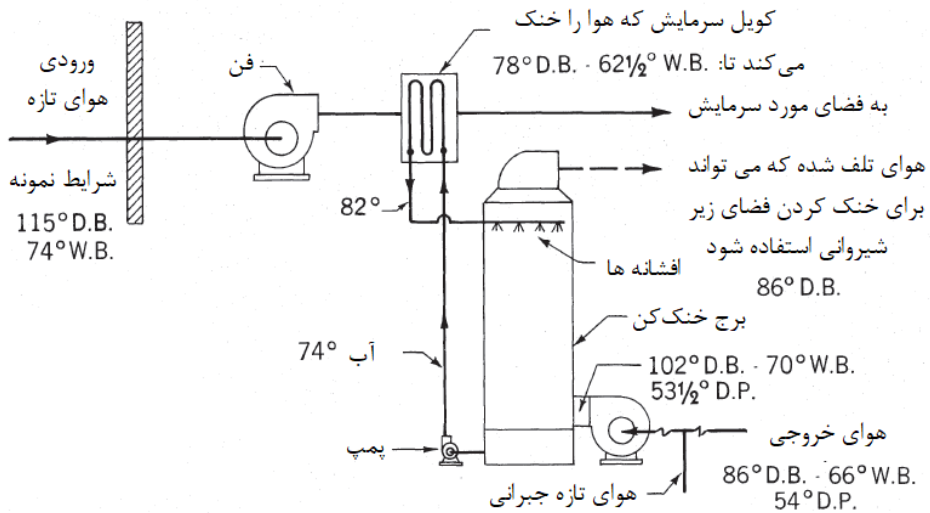
1- Range اختلاف بین دمای ورودی و خروجی آب برج خنک کن - مترجم:

2- Approach اختلاف دمای آب خنک شده در برج خنک کن و دمای مرطوب محیط - مترجم:

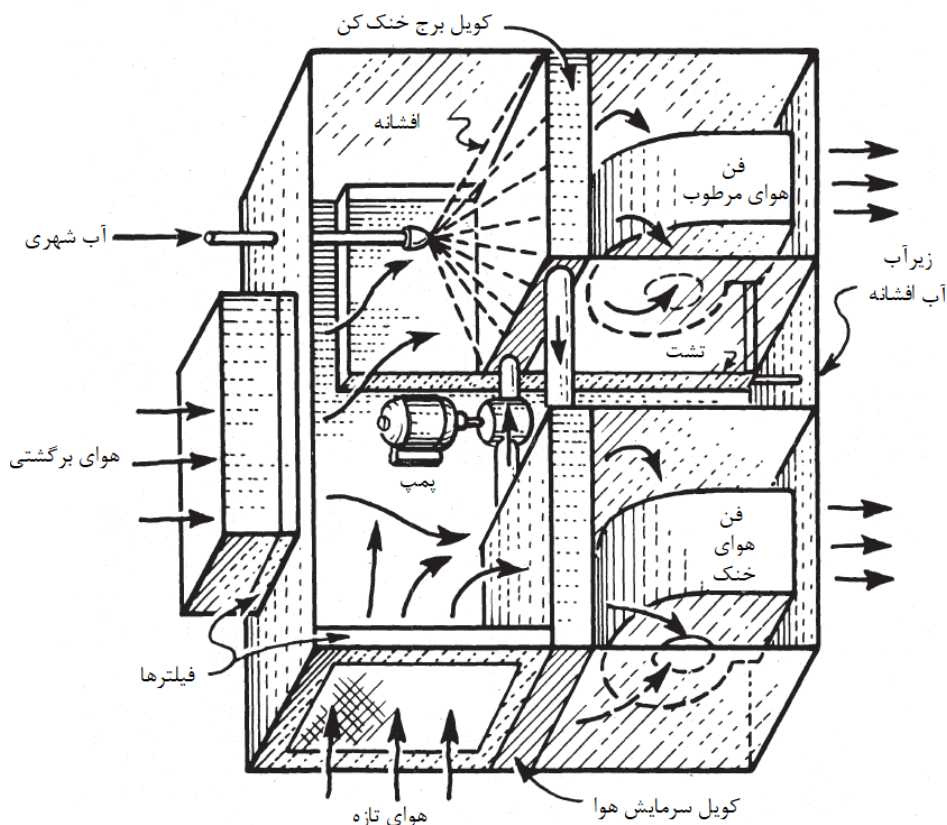
3- University of Texas

4- Austin

مداوم آب محبوس درون کویل‌ها را به گردش در می‌آورد. این مجموعه در مرکز یک محفظه فلزی قرار داشت. یک افشانه‌ای از آب تازه شهری یک کویل را مرطوب نگه داشته و همزمان یک فن گریز از مرکز $\frac{1}{4}$ اسب بخاری، هوای تازه بیرون را به درون خود می‌کشید و با هوای برگشتی خنک از خانه مخلوط می‌کرد. این امر آب پاشیده شده بر روی پره‌های کویل و لوله‌ها را تبخیر می‌نمود و در نتیجه آب در حال گردش درون آن‌ها را خنک می‌کرد.



شکل ۳- یک سیستم معمولی بازتاب همراه با برج خنک‌کن و کویل، با یک برج بزرگ‌تر از اندازه معمول دارای کوران اجباری و با هوای خنک برگشتی که وارد برج می‌شود، هوا می‌تواند تا ۴ درجه فارنهایت ($\frac{2}{2}$ درجه سلسیوس) خنک شود.

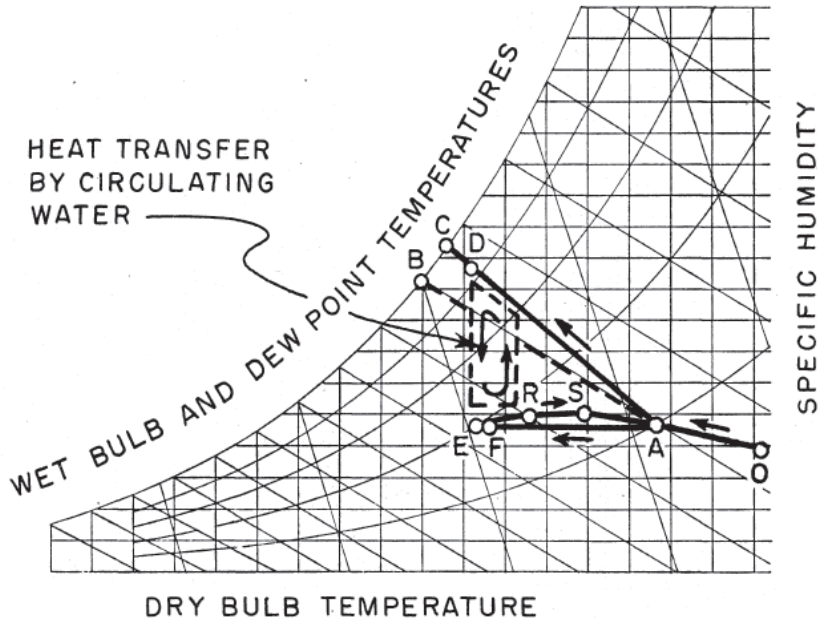


شکل ۴- سیستم سرمایش تبخیری غیرمستقیم گافورد که یک برج خنک کن افشانه‌ای-کوئلی و گردش حلقه بسته آب را نشان می‌دهد، که اثرات تشکیل رسوب توسط آب سخت را کاهش می‌دهد.

این آب خنک شده در کوئل دیگری به گردش در آمده و مخلوط دیگری از هوای بیرونی و برگشتی که به وسیله یک فن $\frac{1}{4}$ اسب بخاری کشیده می‌شد را خنک می‌نمود و سپس آن را به کانال‌های تغذیه‌کننده هوا تحویل می‌داد. در عین حال، فن اول هوای مرطوب را به بیرون تخلیه نموده و آب پاشیده شده اضافی به آب روی بام مسطح اضافه می‌شد (به شکل ۵ مراجعه کنید).

از نظر فنی، اولین کوئل یک برج خنک کن از نوع coil-shed بود که دو جریان آب را از هم جدا نگه می‌داشت؛ نه آب محبوس گردش‌کننده رسوبات داخلی ایجاد می‌نمود و نه آب شهری رسوباتی را بر روی لوله‌ها ایجاد می‌کرد و در نتیجه این سیستم برای سالیان متمادی به خوبی کار می‌کرد. یک سیستم با قدمتی در حدود ۸ سال، در هنگام آزمون، در حدود ۳۷۱۰ cfm فوت مکعب بر دقیقه (m^3/s)

۱/۸) از هوای ورودی را تحویل داده و در یک روز بادی ضریب تاثیری در حدود ۵۵ درصد داشت. در آب و هوای ساکن، احتمالاً رطوبت محلی این مقدار را کاهش می‌دهد.



شکل ۵- فرایند رطوبت سنجی در سطح خشک بازتاب و کولرهای تبخیری غیرمستقیم گافورد. هوای بیرونی O با هوای برگشتی S مخلوط شده و هوای A را با دمای مرطوب B تشکیل می‌دهد. فرآیند غیر آدیباتیک AD آب را تا DE خنک نموده و هوای خشک را از A تا E خنک می‌نماید. این هوا در F وارد اتاق شده و با عبور از اتاق در شرایط متوسط R تا S گرما را جذب می‌کند. اتلاف گرمای AE معادل با دریافت گرمایی AD است (مقیاس‌ها واقعی نیستند).

سیستم‌های مبدل حرارتی صفحه‌ای

این سیستم‌ها بسیاری از مشکلات کویل‌های سرمایش لوله‌ای را رفع نموده‌اند. اولین طراحی به این صورت توسط Harold A. Stockly مهندس لس‌آنجلسی با شماره اختراع ۱۹۸۰۱۰۹ ایالات متحده در سال ۱۹۳۴ میلادی ثبت شد. با توجه به بزرگ بودن اجزای آن، این سیستم اساساً برای ساختمان‌های بزرگ مناسب بود و برای مثال در دو تأسیسات در لس‌آنجلس که یکی در استودیوی سابق والت دیزنی و دیگری یک درمانگاه بود به ظرفیت سرمایش ۱۵۰ تن استفاده شدند.

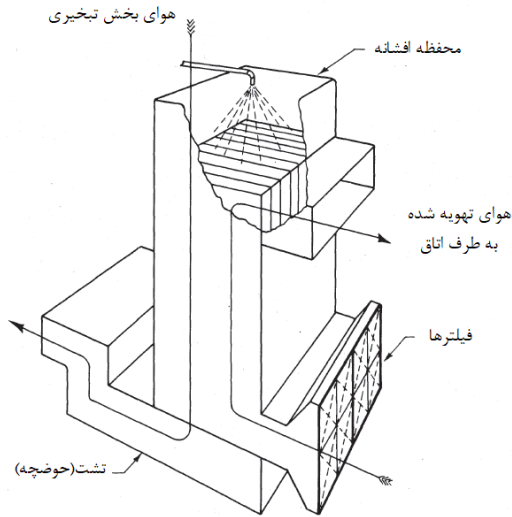
سیستم Stockly هوای خنک برگشتی از اتاق را در دو ردیف از هواسازهای از نوع افشانه‌ای خنک نموده و آن را از دو مبدل حرارتی صفحه‌ای بزرگ عبور می‌داد. در اینجا این سیستم، از طریق رسانش، هوای تازه بیرون را خنک می‌نمود که سپس جهت سرمایش اتاق‌ها توزیع می‌گردید. هوای مرطوب از

هواسازها به بیرون تخلیه می‌شد. در هوای مرطوب، از یخ جهت سرد نگه داشتن آب و سرمایش هوا استفاده می‌گردید. سیستمی از دریچه های هوا، این چیدمان را به سیستم گرمایش زمستانی تبدیل می‌نمود که در آن هوای گرم برگشتی، هوای تازه ورودی را پیش گرم می‌نمود.

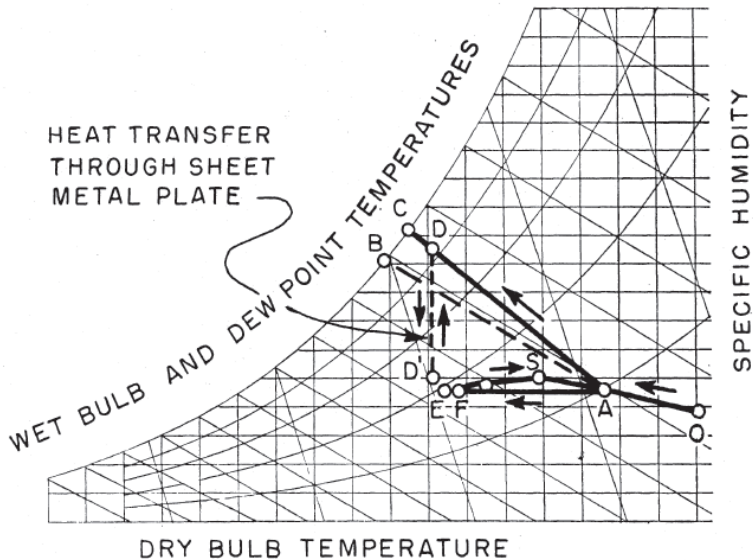
از آنجایی که آب با سطوح مبدل حرارتی تماسی نداشت، هیچگونه رسوبی ایجاد نمی‌گردید. بر طبق گزارشات، هوا با دمای ۴ درجه فارنهایت (۲/۲ درجه سلسیوس) بالاتر از دمای هوای مرطوب بیرون تحویل داده می‌شد. البته این هواسازها بزرگ و پر سر و صدا بوده و مبدل های حرارتی هوا به هوا نیز نیازمند سطوح فلزی چندگانه فراوان با وزن متعلقات و تلفات اصطکاکی هوا بودند. بنابراین تأسیسات انگشت شماری از این نوع ساخته شدند.

در بین سالهای ۱۹۳۵ تا ۱۹۳۷، یک سیستم جمع و جورتر و اقتصادی تر توسط دکتر Pernot از لس آنجلس طراحی شده و به وسیله دو نفر به اسامی Rich و Pernt تولید شد. در اینجا، مبدل های حرارتی صفحه ای عمودی، هم به عنوان برج خنک کن و هم به عنوان سطح خنک کننده نقش داشتند. کولرها متشکل از چندین ورق توخالی شکل داده شده به ضخامت ۱/۳ mm از آهن گالوانیزه به عرض ۲ فوت (۰/۶۱ متر)، ارتفاع ۵ فوت (۱/۵ متر)، و ضخامت $\frac{5}{16}$ اینچ (۷/۹ میلی متر) و با فاصله $\frac{1}{4}$ اینچ (۶/۴ میلی متر) از هم بودند.

این چیدمان کانال های موازی باریکی را در تماس گرمایی مناسب با هوای داخل و خارج تشکیل می‌داد. هوای تازه بیرون و افشانه ریز آبی که از بیرون آمده و بین ورق ها توزیع می‌شد، آن ها را از طریق تبخیر خنک کرده و همزمان فن دیگری هوای خشک تازه را به سمت بالا و به درون آن ها هدایت می‌نمود. هوا با لایه نازک آب در حال تبخیر، تنها توسط یک فلز نازک فاصله داشته و این هوا خنک شده و به ساختمان تحویل داده می‌شد (به شکل های ۶ و ۷ مراجعه کنید).



شکل ۶- دستگاه کولر از نوع صفحه‌ای که حرکت ممکن هوا را نشان می‌دهد. این سیستم پایه از سال ۱۹۳۶ تا ۱۹۵۵ فروشگاه J.C.Penney در شهر توسان را خنک می‌نمود.



شکل ۷- فرآیند رطوبت سنجی در کولرهای تبخیری غیرمستقیم از نوع صفحه‌ای. هوای بیرون O و هوای برگشتی S مخلوط شده و هوای A را با دمای مرطوب B تشکیل می‌دهد. هوای A صفحاتی را که آب بر روی آنها پاشیده می‌شود را به صورت غیر آدیاباتیکی تا DD' خنک نموده و هوای خشک داخلی را از A تا E خنک می‌کند. این هوا در F وارد اتاق‌ها شده و گرما را با عبور از میانگین نامشخص اتاق تا S گرما را جذب می‌نماید. اتلاف گرمای AE برابر با دریافت گرمای AD است (مقیاس‌ها واقعی نیستند).

این سیستم ها معمولاً بدون بازیاب ساخته می‌شدند اما هوای فیلتر شده و بیرون را هم برای برج و هم به منظور تحویل استفاده می‌کردند. یک فن مکشی، هوای تازه را جهت سرمایش به داخل کشیده و آن را به داخل کانال‌ها وارد می‌نمود. سایر فن‌ها هوا را به داخل گذرگاه‌های برج کشیده و آن را به صورت مرطوب به اتمسفر داده یا از طریق فضای زیر شیروانی تخلیه می‌نمودند. افشانه اضافی، در پایین حوضچه (تشت) جمع شده و به وسیله یک پمپ گریز از مرکز به افشانه‌های فشاری بازگردانده می‌شود. رسوبات ایجاد شده ضرورتاً نازک بوده و در سطح وسیعی پخش می‌گشتند و علاوه بر آن به راحتی و بدون خاموش نمودن سیستم برداشته می‌شدند.

از اواخر ۱۹۳۰ تا دهه‌های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ میلادی، این واحدها، سرمایش مقرون به صرفه‌ای را با هوای کاملاً تازه برای بسیاری از ساختمان‌های فروشگاه‌های کوچک و فروشگاه‌های زنجیره‌ای فراهم نمودند. در سال ۱۹۵۲ مؤلف این کتاب، نمونه‌ای را بر روی بام مغازه J.C. Penney در توسان واقع در ایالت آریزونا مورد آزمایش قرار داد. مساحت این سیستم برابر با ۲۰۰۰۰ فوت مربع (1858 m^2) بوده و در حدود ۶۰ تن (760 kJ/hr) سرمایش را با توان $19 \frac{1}{4}$ اسب بخار تولید می‌نمود. این سیستم در سال ۱۹۳۶ نصب گردید و تا سال ۱۹۵۵ ساختمان را خنک نموده و به جز از گرفتگی‌های هر از گاه شیپوره‌ها و زنگ‌زدگی پره‌های فن، مراقبت اندکی را لازم داشتند. برای اثربخشی بیشتر، هوای مرطوب استفاده شده این سیستم، فضای زیرشیروانی را خنک می‌نمود.

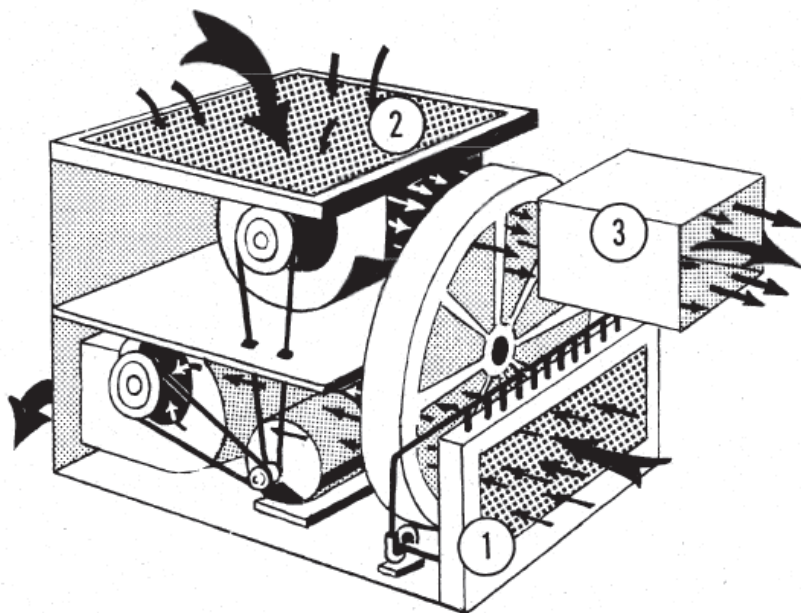
سیستم چرخ ذخیره حرارت پنینگتون

این سیستم نوآورانه و کارآمد در اوایل دهه ۱۹۴۰ میلادی پدیدار شده و به وسیله Neal A. Pennington از توسان ایالت آریزونا طراحی و اختراع شد و با پیش گرم‌کن‌های هوای Ljungstorm در نیروگاه‌های برق و چرخ‌های بازیابی حرارت تلف شده پنینگتون که بعدها در بسیاری از تئاترها جهت پیش‌گرمایش یا پیش‌سرمایش هوای تازه بیرون به منظور تهویه استفاده می‌شد، شباهت داشت.

قلب تپنده این سیستم یک چرخ متخلخل^۱ با قطری در حدود ۵ فوت ($1/5$ متر) و ضخامت ۱ فوت ($30/5$ سانتی‌متر) بود که از توری ساخته شده از رشته‌های پشمین آلومینیوم پر می‌شد. این چرخ در یک صفحه عمودی، با ۲۰ تا ۳۰ دور بر دقیقه می‌چرخید.

در هر لحظه، هوای خنک یک کولر تبخیری مستقیم از نوع پد دار، از نصف چرخ می‌گذشت. اگر کولر هوای برگشتی از اتاق‌ها را مورد استفاده قرار می‌داد، مجموعه می‌توانست به وسیله هوای اشباع تا

پایین تر از دمای هوای مرطوبی که به بیرون تخلیه می‌گشت خنک شود. سپس این مجموعه خنک شده، در مسیر هوای تازه بیرون که از فیلترها وارد می‌شود، می‌چرخد. به هنگام عبور از مجموعه خنک، این مجموعه بدون دریافت رطوبت خنک شده و وارد کانال‌های کولر ساختمان می‌گردید (به شکل ۸ مراجعه کنید).



شکل ۸- در هنگام سرمایش، هوای برگشتی از طریق پد مرطوب اشباع ۱ و نیمی از چرخ فلزی متخلخل که آن را خنک می‌نماید، جریان می‌یابد. هوای تازه بیرون از طریق فیلتر ۲ وارد شده و از طریق چرخ خنک شده دمیده می‌شود. چرخ هوا را خنک نموده و کانال ۳ آن را تحویل می‌دهد.

در ماشین پنینگتون دیگری که مؤلف آن را مشاهده نمود، اما آن را مورد آزمایش قرار نداد، از دو چرخ استفاده می‌شد. یکی از آن‌ها چرخ انتقال حرارت شرح داده شده فوق بود و دیگری دارای بسته‌ای از آزیست بود که با کلرید کلسیم رقیق یا محلول مشابهی اشباع شده بود تا بخار آب موجود در هوا را جذب نماید.

هوای بیرون فیلتر و به داخل کشیده شده و سپس در این چرخ خشک شده و در چرخ دیگر خنک گشته و به داخل (اتاق) تحویل داده می‌شد. هنگامی که این هوا به عنوان هوای برگشتی وارد پد می‌شد، دمای مرطوب پایین آن، موجب می‌شد تا به هوای شسته شده‌ای که بسیار خنک‌تر از حالت عادی است تبدیل شود. پس از سرد نمودن بسته آزیستی چرخ سرمایش، این هوا به وسیله گاز، روغن یا بخار گرم شده و از طریق چرخ انتقال رطوبت تخلیه می‌شد تا باعث فعال‌سازی مجدد مواد شمیایی، به منظور رطوبت زدایی بیشتر هوا، گردد.

بنابراین، از آنجایی که سیستم پایه پنینگتون برای آب و هوای خشک بود، مدل جدید به منظور تأمین تمامی شرایط طراحی شده بود. برای مثال در زمستان، گرم‌کن هوای فعال‌شونده ساختمان‌ها را گرم می‌نمود. در سال ۱۹۵۵ یک تأسیسات ۳۹ تنی (۴۹۴ kJ/hr) از این نوع تکمیل گردید. جالب است بدانید که انواع چرخ‌های پنینگتون در بین محصولات فعلی ارائه می‌شوند (به فصل‌های ۲۲ و ۲۴ مراجعه کنید).

سیستم‌های سرمایش لوله‌ای غیرمستقیم

در سال ۱۹۰۳ میلادی، Elfert مخترع آلمانی یک سیستم لوله‌ای را اختراع نمود که در ادامه به شرح آن می‌پردازیم. در دهه ۱۹۳۰ میلادی، Fisher و Ballard مخترعین آمریکایی این طرح را دنبال نمودند که در مدل Fisher یک کولر پنجره‌ای با لوله‌های افقی ضخیم به طول ۲۴ اینچ (۶۱ سانتیمتر) و ضخامت $\frac{1}{4}$ اینچ (۱/۳ سانتی‌متر) و فاصله بین لوله‌هایی با همین اندازه موجود بود. یک فن پروانه‌ای، هوای بیرون را از بین و داخل لوله‌ها می‌دمید و همزمان افشانه‌های آب، آن‌ها را مرطوب می‌نمود. هوای خنک شده درون لوله‌ها در داخل اتاق پیشروی کرده و همزمان هوای مرطوب به بیرون تخلیه می‌گردید.

Ballard یک سیستم دو مرحله‌ای را ارائه نمود که از مرحله اولیه مشابهی استفاده می‌کرد که در آن لوله‌ها، جهت توزیع بهتر و حفظ آب در حین تبخیر، به وسیله الیاف جاذب پوشیده می‌شدند. امروزه چهار تولید کننده در لوله‌های خود از پارچه و الیاف استفاده می‌نمایند.

سرمایش غیرمستقیم دو مرحله‌ای

سیستم دکتر Elfert دو مرحله لوله‌ای داشت که آب بر روی آن‌ها پاشیده شده که در آن هوای خنک کننده آب را در دیگری تبخیر می‌نمود و این احتمالاً اولین مورد استفاده از اصول بازیابی بود. کولر Ballard دارای یک مرحله ثانویه از نوع برودتی بود.

برخی از تأسیسات دارای سطح خشک، مراحل ثانویه برودتی یا سرمایه‌ش تبخیری مستقیم داشتند. ساختمان اداری دانشگاه آریزونا نمونه‌ای از این قبیل بود. در آب و هوای به ندرت مرطوب، هنگامی که سیستم دارای سطح خشک بازیاب کفایت نمی‌کرد، مرحله برودتی آن را کامل می‌نمود. کویل تبخیری پس از کویل اصلی در جریان هوا قرار داشت و هر دو سرمایه‌ش محسوس و نهان را انجام می‌داد.

در سال ۱۹۵۲ میلادی، مؤلف، یک سیستم با سطح خشک دو مرحله‌ای ویژه را در یکی از شعب فروشگاه Jacome واقع در توسان مورد بررسی قرار داد. در اینجا یک مرحله غیرمستقیم با برج خنک‌کن جداگانه خود، هوا را به منظور تهویه مطبوع کامل برودتی پیش سرمایه‌ش می‌نمود. با پیش سرمایه‌ش هوای تازه در قبل از رسیدن آن به کویل برودتی از ۱۱۰ درجه فارنهایت (۴۳/۳ درجه سلسیوس) تا ۷۰ الی ۸۰ درجه فارنهایت (۲۱/۱ تا ۲۶/۷ درجه سلسیوس)، مرحله غیرمستقیم چندین تن تبرید را صرفه‌جویی می‌نمود.

بیشترین سیستم‌های دو مرحله‌ای در کالیفرنیا تولید می‌شد. بسیاری از شعبات بانک‌ها و فروشگاه‌های زنجیره‌ای در مناطق روستایی که توسط شرکت مهندسی Ralph Phillips و Baker یا سایر سازندگان خنک می‌شدند، دارای مرحله ثانویه برودتی بودند. این سیستم‌ها آسایش و راحتی روزانه مورد نیاز را فراهم نموده و به خوبی در شرایط آب و هوایی مرطوب کار می‌کردند. در حالت کلی، مراحل غیرمستقیم گرمای قابل محسوس هوا را کنترل نموده که معمولاً در حدود ۷۰ درصد از مقدار گرمای کلی تخمین زده می‌شود و کویل‌های برودتی اغلب مقدار ۳۰ درصد باقی‌مانده را، که گرمای نهان نامیده می‌شود، را دفع می‌نمودند. حتی مراحل برودتی بسیار کوچک نیز نتایج قابل قبولی به دست می‌دادند.

مزایای مرحله بندی

این شیوه مرحله بندی، صرفه‌جویی‌های متعددی را در هزینه‌های مربوط به سرمایه‌ش نتیجه می‌دهد. نخست این که، اغلب گرمای اضافی درون هوای بیرونی یا در حال تهویه از آن گرفته شده که هزینه آن ۲۰ تا ۳۰ درصد سرمایه‌ش برودتی است. این امر در مکان‌هایی که ازدحام جمعیت

وجود داشته یا لازم است بو، گاز، بخار یا گرد و خاک داخل گرفته شود، مساعدت نموده و در فروشگاه-های زنجیره‌ای، خرده فروشی‌ها، بارها، رستوران‌ها، سالن‌های زیبایی، آرایشگاه‌ها، سالن‌های ورزشی، سالن‌های رقص، اتاق‌های جلسات، تئاترها، مدارس، هتل‌ها، بیمارستان‌ها و بسیاری از ساختمان‌های صنعتی و آزمایشگاهی که به مقادیر اضافی از هوای تازه نیاز دارند، منجر به صرفه‌جویی قابل توجهی می‌گردد.

دوم این که بسیاری از گرمای محسوس به وجود آمده در هوای برگشتی ساختمان‌ها با درصد هزینه مشابه با هزینه سرمایش برودتی دفع می‌شود. سوم این که سیستم دو مرحله‌ای دمای هوا را به میزان کافی پایین آورده و در نتیجه، نسبت به سرمایش تبخیری مستقیم، حجم کمتری از هوا جهت گردش در اتاق‌ها لازم است. بنابراین ابعاد و اندازه فیلتر، فن، کانال، دریچه و سیستم برگشتی می‌تواند کاهش یابد.

در نهایت، در آب و هوای بسیار خشک و در بسیاری از شب‌ها یا در حین خرابی سیستم برودتی، سیستم غیرمستقیم می‌تواند تمام بار سرمایشی را به عهده گرفته و منجر به صرفه‌جویی در مصرف برق و کاهش ناراحتی افراد شود.

این سیستم‌ها صرفه‌جویی‌های دیگری را نیز موجب می‌گردند. یک برج خنک‌کن و پمپ می‌تواند آب را به طور همزمان هم به کویل‌های با سطح خشک و هم به کندانسور آب-خنک سیستم برودتی داده یا هوای خروجی از مرحله اول برج‌های خنک‌کن می‌تواند کندانسورهای هوا-خنک مرحله دوم را خنک نماید. چگالش صورت گرفته از طریق کویل‌های سرمایش برودتی می‌تواند به برج‌ها تخلیه شده تا سرمایش خود را حفظ نموده و مصرف آب و در نتیجه تشکیل رسوبات را کاهش دهد.

مراحل ثانویه تبخیری مستقیم

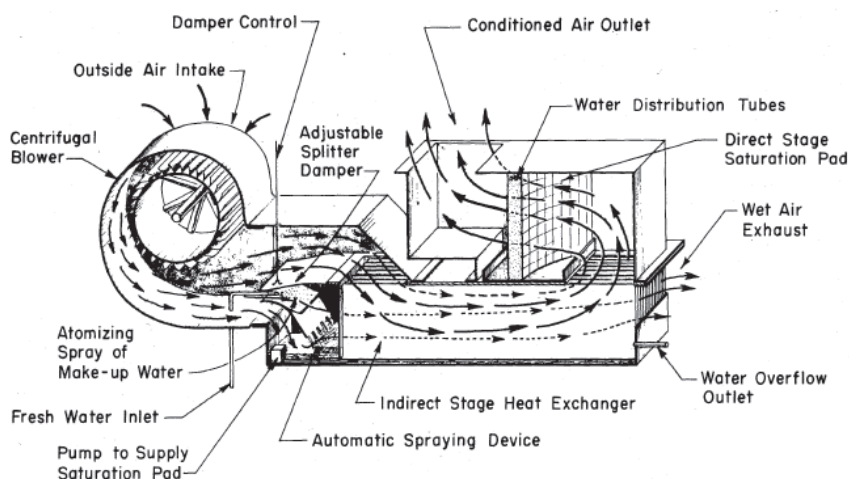
برخی تأسیسات با سطح خشک، مراحل ثانویه‌ای از سرمایش تبخیری مستقیم دارند (به شکل ۱۰ مراجعه کنید). این سیستم‌ها برای مناطق خشک‌تر پیشنهاد شده و هوای شسته شده را در نزدیکی یا کم‌تر از دمای مرطوب به بیرون تحویل داده و همانند سیستم برودتی بودند که حجم هوای لازم و ابعاد و اندازه فیلتر، فن، کانال، دریچه و سیستم برگشتی را کاهش می‌دادند.

بسیاری از تأسیسات بزرگی که در پایگاه‌های نظامی کالیفرنیا و نوادا^۱ قرار داشتند، از کویل‌های با سطح خشک و مراحل ثانویه سرمایش چرخشی استفاده می‌نمودند. یکی از موفقیت‌آمیزترین آن‌ها یک آشیانه تعمیرات هواپیما را در پایگاه هوایی Edwards خنک می‌کرد. در محل آزمایش مهمات

دریایی Inyoken دو تأسیسات به ترتیب ۱۲۰۰۰ و ۲۳۰۰۰ cfm (۵/۷ و ۱۰/۹ m³/s) هوای شسته شده را تحویل می دادند که معمولاً تا فاصله حدود ۱ تا ۲ درجه فارنهایت (۰/۵۵ تا ۱/۱ درجه سلسیوس) از دمای هوای مرطوب بیرون خنک می شدند.

اگرچه هنگامی که این هوا وارد اتاق ها می گردد تقریباً اشباع است، ولی چنین هوای شسته شده ای رطوبتی کمتر از خروجی کولر تبخیری معمولی دارد. همزمان که این هوا گرما را جذب می نماید، رطوبت نسبی آن به سرعت افت نموده و شرایط داخلی را ایجاد می کند که رطوبت آن بیشتر از ۵۰ تا ۶۰ درصد نمی گردد که کاملاً با سیستم تهویه هوای برودتی قابل مقایسه است.

اگرچه برخلاف مورد اخیر و سایر سرمایش های تبخیری غیرمستقیم مرحله ای، مراحل ثانویه مستقیم اجازه گردش مجدد هوا را نمی دهند. به جای سیستم های برگشتی که هوای اتاق را جهت سرمایش مجدد باز می گردانند، تأسیساتی که مراحل ثانویه ای از نوع سرمایش تبخیری مستقیم دارند باید ۱۰۰ درصد از هوای تازه ورودی را استفاده نموده و هوای استفاده شده اتاق را به بیرون تخلیه نمایند. به طور مشابه، این سیستم ها نمی توانند هوای استفاده شده اتاق را در برج های خنک کن استفاده نمایند، چرا که دمای هوای مرطوب آن بیشتر از هوای بیرون بوده و بنابراین اثر بازیابی غیرممکن است.



شکل ۱۰- کولر افقی تبخیری غیر مستقیم دو مرحله ای مؤلف در سال ۱۹۵۳. طرحواره کولر تبخیری غیر مستقیم نوع صفحه ای با قطعه افشاننده ابداع شده توسط Wroth و مرحله ثانویه تبخیری غیرمستقیم

به طور خلاصه، سیستم های سرمایش تبخیری غیرمستقیم با مراحل ثانویه سرمایش تبخیری مستقیم، باید دقیقاً همانند سیستم اخیر به صورت جداگانه استفاده شوند. محتمل ترین کاربردهای ممکن برای هوای شسته شده تخلیه شده، سرمایش فضاهای زیر شیروانی (به فصل ۸ مراجعه کنید) و

کندانسورهای سیستم‌های تهویه مطبوع و سیستم‌های برودتی تجاری است (به فصل ۱۹ مراجعه کنید).

سرمایش دو مرحله ای کندی^۱

در دهه ۱۹۵۰ میلادی، هنگامی که مؤلف در حال آزمایش کولرهای غیر مستقیم صفحه‌ای بود (به فصل ۲۱ مراجعه کنید)، یک ماشین دارای سطح خشک غیرمعمول به صورت مستقل توسط یک دانشجوی فارغ التحصیل از دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تگزاس در آوستین به نام Robert Kennedy طراحی و ساخته شد.

این سیستم از دو محفظه با طولی در حدود ۸ فوت، عرض ۳ فوت و ارتفاع $\frac{1}{2}$ فوت ($\frac{0}{2}$ در $\frac{0}{91}$ در $\frac{0}{76}$ متر) تشکیل می‌شد که یکی بر روی دیگری ساخته شده و محفظه پایین‌تر بر روی پایه‌ها قرار داشت. محفظه پایینی یک کولر آبی را تشکیل می‌داد که به عنوان برج خنک‌کن عمل نموده و به طور کامل با دیواره‌ای از پد پوشالی پوشانده می‌شد و شامل یک دمنده $\frac{1}{4}$ اسب بخاری بود که هوا را به سمت پایین تخلیه نموده و یک پمپ داشت که آب جمع شده در پایین برج را به دو مرحله سرمایش در سمت بالا می‌رساند.

در ابتدا دو رادیاتور اتومبیل درون دیواره‌های انتهایی محفظه فوقانی ساخته شد. هوای بیرون وارد آن‌ها شده و سپس از یک مرحله ثانویه حاوی دو پد پوشالی، در هر طرف یک دمنده $\frac{1}{4}$ اسب بخاری، عبور می‌نمود که هوای شسته شده نهایی را جهت سرمایش تحویل می‌داد. سپس آب از مراحل فوقانی تخلیه شده تا پدهای نرم زیرین را مرطوب نماید.

با حدود $\frac{5}{6}$ اسب بخار، این کولر هوا را تا $57,400 \text{ Btu/h}$ ($60/56 \text{ kJ/hr}$) خنک نموده و علی‌رغم وجود تنها 4 gpm ($15/14 \text{ l/min}$) جریان آب در هر رادیاتور، مقدار اقتصادی 4200 Btu به ازای هر درجه فارنهایت افت دمای مرطوب در هر kwh ($7976 \text{ kJ/deg C/kwh}$) را به صورت محسوس دفع می‌کردند. با دو برابر نمودن این مقدار باید به راحتی ضریب تاثیر سرمایش مرحله اول به بالاتر از مقدار ۵۵ الی ۵۶ درصد افزایش یابد. هنگامی که این سیستم جهت سرمایش آزمایشی یک کلاس درس

استفاده شد، در اثر کاهش جریان به خاطر رسوب و خرده های پوشال، عملکرد به طور مشهودی کاهش یافت.

با استفاده از پد سلولزی یا ماده واسط صُلب به جای پوشال و با استفاده از کویل های بهتر و فیلتر سازی، گردش و دورریزی مناسب آب، به نظر می رسد که این کولرها شایسته امتحان و ارزیابی بیشتری هستند. در واقع امروزه ویژگی های سیستم کِنِدی، در کولرهای غیر مستقیم مرحله ای جمع و جوری دیده می شود که در حال حاضر در آلبوکرک^۱ ساخته می شوند.

سرمایش تابشی غیرمستقیم

این سیستم از روی سیستم های گرمایش تابشی منازل مسکونی استنتاج شده که در دهه ۱۹۳۰ میلادی توسعه یافته و با ظهور سیستم های فن دار هوای گرم امروزی کنار گذاشته شدند. گرمایش به وسیله شبکه های آب گرم واقع در درون بخش هایی از یک کف بتونی یا لوله های واقع در لایه ضخیمی از گچ دیوار و سقف، صورت می پذیرفت. این امر گرمای بی صدا، آرام، تمیز و ارزانی را فراهم می نمود اما مشکلاتی در کنترل داشت و گردش هوا و فیلترسازی در آن صورت نمی گرفت.

این سیستم ها به جز در شکل تبخیری، به راحتی برای سرمایش تابستانی قابل تبدیل نبودند. در صورتی که آب سیستم برودتی به گردش در می آمد، امکان چگالش در هوای مرطوب وجود داشت که احتمالاً به قالیچه ها و دکوراسیون اتاق آسیب وارد می نمود. تضمین این که با استفاده از این سیستم برودتی، دمای سطوح همواره بالاتر از نقطه شبنم هوای داخلی باشد دشوار است، بنابراین به نظر می رسد این سرمایش پانلی تابشی، تنها در جایی عملی است که کویل های رطوبت گیر، نقطه شبنم داخل اتاق را کنترل می نمایند.

البته، آزمایش کنندگان به طور موفقیت آمیزی آب را از برج های خنک کن در این پانل ها به گردش آورده اند. به دلیل این که برج های خنک کن نمی توانند به نقطه شبنم برسند، چگالش در داخل اتاق تقریباً غیرممکن است. این سیستم ها معمولاً از پانل های دیواری یا سقفی استفاده نموده و از پانل های کف اتاق بهره نمی گیرند زیرا آن ها نه تنها گرمای تابشی داخل را جذب می نمایند بلکه گرمای بیرون را رسانش کرده و توأمأً برای سرمایش و به عنوان عایق عمل می کنند.

در سال ۱۹۴۹، پروفیسور R.R.Irwin در کالج ایالتی اوکلاهما^۲ یک آپارتمان دانشجویی ۲۰ در ۲۰ فوت (۶/۱ در ۶/۲ متر) را به پانل هایی در دیوار و سقف مجهز نمود. این پانل ها از کویل های مارپیچی

1- Albuquerque

2- Oklahoma State College

با لوله‌های مسی به قطر $\frac{3}{4}$ اینچ (۱/۹ سانتی‌متر) و با فاصله ۶ اینچ (۱۵/۲ سانتی‌متر) از یکدیگر استفاده می‌نمودند که بر روی تخته دیواری و گچ روی آن قرار داشتند. سقف و دیوارها کاملاً به وسیله پشم شیشه عایق شده بودند.

آب از یک برج خنک‌کن بزرگ با مکش طبیعی، به وسیله یک پمپ $\frac{3}{4}$ اسب بخاری که در واقع در حدود $\frac{1}{4}$ اسب بخار توان تولید می‌کرد، در پانل‌ها به گردش در می‌آمد. برج ۲۸ gpm (۱/۸ l/s) آب را تا 2 deg F (۱/۱ deg C) نسبت به دمای مرطوب هوای بیرون خنک می‌کرد. در هنگام سرمایش اتاق‌ها، پانل‌ها آب را در روزهای خنک تا 2 F (۱/۱ deg C) و در گرم‌ترین روزها ۶ تا ۷ درجه فارنهایت ($3/3$ تا $3/9$ درجه سلسیوس) گرم می‌نمودند.

بدین ترتیب، جذب کلی گرما از مقدار $17,996 \text{ Btuh}$ ($29/5 \text{ kJ/hr}$) یا $2/33$ تن تا Btuh $97,860$ ($103/2 \text{ kJ/hr}$) یا $8/2$ تن تغییر می‌نمود. البته، این دریافت گرمایی، بیشتر گرمای بیرون (و نه گرمای داخل) را محدود می‌کرد. پروفیسور Irwin مقدار سرمایش داخلی را در حدود ۲ تن تخمین زد.

البته در طی هر دو فصل استفاده، آسایش و راحتی داخلی عالی ارزیابی شد. علی‌رغم این که دمای بیرون در برخی مواقع به 106 F ($41/1 \text{ C}$) می‌رسید، اما دمای هوای خشک داخلی هرگز از $82/5$ ($28/1 \text{ C}$) فراتر نرفت. در طول روز، در حالی که دمای بیرون 20 F ($11/1 \text{ C}$) تغییر می‌نمود، دمای داخل بیشتر از 1 F ($0/6 \text{ C}$) تغییر نمی‌کرد. به دلیل اینکه هیچ تلاشی جهت کنترل هوای داخل صورت نمی‌پذیرفت، این سیستم‌ها از دمای مرطوب هوای بیرون پیروی می‌نمودند که به صورت فصلی از 70 تا $82/5 \text{ F}$ ($21/1$ تا $28/1 \text{ C}$) تغییر می‌نمود (به شکل ۱۱ مراجعه کنید).

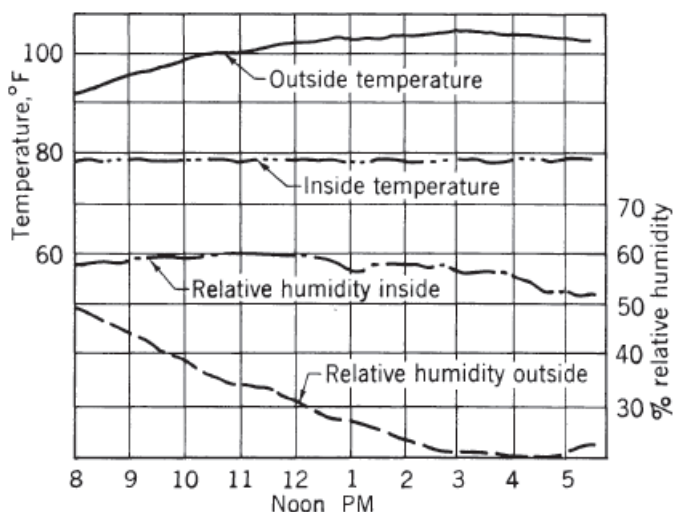
به هنگام گفتگو با ساکنین آپارتمان، ایشان خاطرنشان کردند که در داخل خانه احساس ناراحتی نداشتند اگرچه هوا راکد بود و لازم می‌شد که از پنکه جهت به گردش در آوردن هوا استفاده شود.

زمانی که مقادیر دما و رطوبت داخلی اتاق بر اساس نمودارهای آسایش استاندارد ترسیم شدند (به فصل ۴ مراجعه کنید)، بسته به رطوبت داخلی، بازه شرایط از وضعیت بسیار آسوده تا وضعیت عدم احساس آسایش تغییر می‌کرد. به دلیل این که ساکنین هیچگونه احساس ناراحتی نداشتند، ظاهراً سرمایش تابشی به وسیله دیوارها و سقف، جبران‌کننده رطوبت بالای داخلی بود هر چند که بر اساس فرضیات نمودار باید موجب احساس ناراحتی و عدم آسایش می‌شدند.

در واقع سرمایش تابشی می‌توانست در روزهایی که بادی وجود ندارد و هنگامیکه کولر غیرمستقیم واقع در پشت بام به دلیل رطوبت بالای اطراف به خوبی کار نمی‌کرد، به خوبی هوای خانه گافورد، در

نزدیکی دریاچه را، مطلوب و خوشایند نماید. احتمالاً بام مسطح غوطه‌ور در آب، به رگم عایق‌کاری سقف، گرمای تابشی را از زیر جذب می‌نمود.

همچنین با توجه به اثرات پاشش آب بر روی سقف‌های مورد آزمایش در فلوریدا، که موجب کاهش دمای سقف شده و آسایش انسان را بدون کاهش دمای هوای داخلی بهبود می‌دهد، این سیستم پیشنهاد می‌گردد. در نمودارهای سنتی آسایش، که تنها اثرات دما، رطوبت و حرکت هوا را انعکاس داده و از تاثیر تابش چشم‌پوشی می‌کنند، این تناقض به شکل اساسی وجود دارد. بنابراین لازم است که این مسئله در نمودارهای بعدی در نظر گرفته‌شود.



شکل ۱۱- شرایط معمول آب و هوای داخلی که به وسیله سرمایش تابشی تبخیری غیر مستقیم ایجاد می‌شود.

این سیستم روش جدیدی را برای تهویه مطبوع ارائه می‌نماید. به جای این که با دفع گرمای محسوس و نهان داخل اتاق آسایش افراد تأمین گردد، این سیستم مقداری از گرمای محسوس را گرفته و دمای تابشی میانگین (MRT) را به اندازه کافی کاهش داده تا مقداری سرمایش تابشی انجام دهد. از گرمای نهان، که همواره پرهزینه‌ترین دفع شده از هوا است، چشم‌پوشی شده و در عوض احساس عدم آسایش معادل آن در دمای تابشی میانگین (MRT) حذف شده، که موجب صرفه‌جویی عظیمی در توان مصرفی می‌گردد.

سیستم Irwin یک ایراد داشت. همانند سیستم‌های با سطح خشک، آب برج خنک‌کن در کویل‌های پانل، ناگزیر از تشکیل رسوب در داخل لوله‌ها بوده و انتقال حرارت را کاهش می‌دهد. از آنجا که تمیز نمودن کویل پانل‌ها دشوار است، برج‌های خنک‌کن از نوع coil-shed یا مبدل‌های حرارتی که به

راحتی تمیز شده و در آن‌ها آب برج، آب خالص در حال گردش را برای پانل‌ها خنک می‌کند، ترجیح داده می‌شوند.

مؤلف چنین سیستمی را در اوستین تگزاس مورد آزمایش قرار داد که در سال ۱۹۴۹ به عنوان یک مدل آزمایشی از یک خانه تمام سرامیکی ساخته شده بود و دارای یک سقف شیب‌دار از کاشی سفالی توخالی با یک پوشش بتونی بود. شبکه‌ای از لوله‌ها درون پوشش بتونی قرار داشت که گرمای تابشی زمستانی و سرمایش قابل توجهی را در تابستان فراهم می‌نمودند.

برای سرمایش، یک برج خنک‌کن با از نوع coil-shed واقع در پشت‌بام، آب در حال گردش در بام را باز طریق کویل‌هایی، به طور غیر مستقیم خنک می‌نمود که این کویل‌ها به وسیله پاشش و افشانه آب برج بر روی آن‌ها خنک می‌گردید. این سیستم، به جای یکی، به دو پمپ و دو بار انتقال حرارت نیاز داشت اما به صورت رضایت‌بخشی عمل می‌نمود. همانند مورد مربوط به Irwin، صاحبان خانه از هوای راکد داخل خانه گلایه داشته و در طول سال از پنکه پایه‌دار گردش‌دهنده هوا استفاده می‌کردند.

همان طور که در فصل ۱۸ عنوان گردید، حداقل در یک ساختمان تلاش شد تا از کولرهای تبخیری مستقیم برای کسب سرمایش تابشی استفاده شود. در دهه ۱۹۶۰ یک تولیدکننده نوشابه‌های بطری در موناهاانس^۱ تگزاس، کارخانه جدیدی ساخت که دارای کانال‌های شعاعی از هوای شسته شده در پشت بام مسطح خود بود که به وسیله کانال‌هایی، از کولرهایی در زیرزمین تغذیه شده و سقف را خنک می‌نمود و سپس این هوا در اطراف سقف تخلیه می‌گردید.

هدف از سرمایش تابشی، تکمیل و به صرفه نمودن تهویه مطبوع برودتی واقع در طبقات زیرین است. متأسفانه، هوای تصفیه شده به سمت پایین نشت نموده و بار سیستم برودتی را افزایش می‌داد در نتیجه سیستم غیر مستقیم کنار گذاشته شد. این شرکت نوشابه‌سازی معتقد بود که از این نشت‌ها می‌توان جلوگیری نموده و موجب شد که سیستم دوگانه بسیار به صرفه باشد.

قابل توجه است که اگر بسیاری از ویژگی‌های بهترین کولرهای تبخیری غیرمستقیم امروزی به وسیله پیشگامان این عرصه مورد امتحان و آزمایش عملی قرار نمی‌گرفتند، امروزه اطلاعاتی نداشتیم.

پرسش های دوره ای

۱. سرمایش تبخیری مستقیم از چه زمانی و در کجا آغاز شد؟ آیا این سیستم قبل از سرمایش تبخیری مستقیم در بازار ارائه گردید؟ تولید این سیستم احتمالاً در کجا آغاز شد؟
۲. یک سیستم ساده با سطح خشک را شرح دهید. چگونه کویل های رادیاتور، هوا را بسیار نزدیک به دمای آب ورودی خنک می کردند؟ چرا پمپها بسیار بزرگ بودند؟ دمای داخلی حاصل چقدر بود؟
۳. در چه مدل هایی از تأسیسات، کویل ها به سادگی هوای داخل را به گردش مجدد در می آوردند (همانند بسیاری از سیستم های برودتی امروزی) و این سیستم ها تمامی هوای تازه بیرون را به کجا می دادند؟ چرا در آنجا تفاوتی وجود داشت؟
۴. نسبت های تقریبی تناژ و اسب بخار حاصل چقدر است؟ چه مقدار اسب بخار ظاهری صرفه جویی می شود؟
۵. کدام سه عامل، سیستم های برج و کویل با سطح خشک را بلا استفاده نمودند؟ برج های خنک کن دو مرحله ای چیست؟ مزیت آنها در چه بود؟
۶. سیستم سطح خشک بازیاب چه بود؟ مزایا و معایب تأسیسات ساختمان اداری دانشگاه آریزونا چه بود؟ چرا پیش سرمایش هوای برج های خنک کن در بهبود عملکرد بازیابی موفق نبود؟
۷. چگونه سیستم گافورد، رسوباتی که انتقال حرارت را در بسیاری از سیستم های برج و کویل دیگر مختل می نمود، از میان برد؟ این سیستم چه ویژگی بازیابی داشت؟
۸. سیستم سرمایش انتقال حرارت هوا به هوای استاکلی را شرح دهید؟ چرا این سیستم با شکست مواجه شد؟
۹. کولر غیرمستقیم پرنوت را شرح دهید. این سیستم چه نسبت تقریبی تناژ به اسب بخاری داشت؟ هوای مرطوب استفاده شده را کجا تخلیه می نمود؟ چرا؟
۱۰. سیستم پنینگتون را شرح دهید. این سیستم چگونه از مشکلات مربوط به تشکیل رسوب جلوگیری نمود؟ اصل جریان مخالف در آن چیست؟ چه نوع از کولر های تبخیری مستقیم را می توان جهت سرمایش چرخ های آن استفاده نمود؟ مصرف توان احتمالی برای آن را با سیستم کویل و برج مقایسه کنید.
۱۱. مدت زمان استفاده از الیاف جاذب در سطوح انتقال حرارت کولر غیرمستقیم چقدر است؟ آیا استفاده امروزی آن نشان می دهد که مرطوب نمودن لوله ها یا صفحات با فاصله نزدیک به هم بوسیله افشانه سراسری ساده است؟ چه معایبی برای این لایه های جاذب انتظار می رود؟

۱۲. چرا در پیش از کویل‌های هوا-خنک برودتی، به ویژه برای مکان‌هایی که به هوارسانی زیادی نیاز دارند، مراحل غیرمستقیم پیشنهاد می‌گردد؟ شرح دهید. چند نوع از ساختمان‌ها یا موسساتی که این سیستم را لازم دارند پیشنهاد داده و دلیل آن را بیان کنید.
۱۳. مراحل ثانویه سرمایش تبخیری مستقیم، معمولاً هوای شسته شده را در دمای مرطوب هوای بیرون یا پایین‌تر تحویل می‌دهند. این هوای شسته شده را با هوای کولرهای آبی مقایسه کنید. آیا تلاطم هوای اتاق باید زیاد باشد؟ آیا هوای استفاده شده باید تخلیه شود؟ آیا می‌توان این هوا را مجدداً بازیابی نمود؟
۱۴. چه خطراتی در سرمایش تابشی برودتی وجود دارد؟ چرا نوع تبخیری ایمن‌تر است؟ چرا در آزمایشات پروفیسور Irwin، عایق‌کاری کاملی در پشت پانل‌ها لازم بود؟ چرا پنکه‌های داخلی گردش‌دهنده هوا توصیه می‌شدند؟
۱۵. سیستم Irwin را با سیستم کارخانه نوشابه‌سازی نگزاس مقایسه کنید. کدام یک به مدت بیشتری از مشکلات پرهزینه رسوبات در امان است؟ کدام یک احتمالاً نسبت بیشتری از گرمای خارجی به داخلی را جذب می‌نماید؟ شرح دهید.
۱۶. یک برج خنک‌کن نوع coil-shed را شرح دهید. مزایا و معایب آن برای سرمایش غیرمستقیم (چه تابشی باشد چه نباشد) چیست؟
۱۷. شرح دهید که چگونه سرمایش تابشی می‌تواند در دماها و رطوبت‌های داخلی بالاتر از آنچه نمودارهای آسایش رایج پیشنهاد می‌کند موجب تأمین آسایش شود. آیا این سیستم شیوه‌های جدید و ارزان‌تری را برای ایجاد آسایش ایده‌آل پیشنهاد می‌دهد؟

فصل ۲۱

سرمایش غیرمستقیم مدرن از نوع صفحه‌ای

در حالی که سرمایش تبخیری، به جز از نظر اندازه و جنس، تنها پیشرفت ناچیزی داشته است، ولی نوع غیرمستقیم آن فرآیندها و دستگاه‌های جدیدی را ارائه داده و امیدواری زیادی برای آینده وجود دارد.

همچنین انواع مستقیم بر حسب دامنه جغرافیایی و اقلیمی محدود هستند مگر این که به هوارسانی عمده‌ای نیاز باشد مثل آشپزخانه‌ها و رختشویخانه‌ها یا در جایی که بار داخلی زیاد است مثل تدمتمنومنکومکمچجج کولرهای غیرمستقیم تهویه (هوارسانی) و آسایش را در همه این مکان‌ها ایجاد می‌کنند.

اصطلاحات و واژه‌ها

سرمایش تبخیری غیر مستقیم اساساً شامل دو جریان هوا است که به طور هم‌زمان از کولر عبور کرده اما در تماس با یکدیگر قرار نمی‌گیرند. اصطلاحات مورد استفاده عبارتند از:

- **هوای اولیه:** هوایی که در حال خنک شدن است، و در ادامه می‌تواند منجر به هوای تامین (تغذیه) شده برای سرمایش اتاق شود. وقتی هیچ گونه مرحله ثانویه تبخیری مستقیمی وجود ندارد، این هوا می‌تواند از هوای داخلی برگشتی باشد یا آن که اغلب آن هوای خارجی است که شامل ۱۰٪ هوای تازه می‌شود.

• **هوای ثانویه:** هوایی که در تماس با آب قرار داشته و به تبخیر آبی کمک می‌کند که سطوح مبدل حرارتی را خنک می‌کند که در عمل موجب سرمایش هوای اولیه می‌شود. هوای ثانویه معمولاً از خارج می‌آید و پس از استفاده مجدداً به آنجا تخلیه می‌شود.

اثرات بازیابی در هنگامی اتفاق می‌افتند که هوای برگشتی از اتاق‌ها به عنوان هوای ثانویه به کار گرفته شود. هوای برگشتی، یک هوای اولیه است که یک بار مورد استفاده قرار گرفته است و ابتدا در کولر غیرمستقیم خنک شده و سپس اتاق‌ها را خنک می‌کند. این هوا معمولاً مقداری از سرمایش اصلی را حفظ کرده و تقریباً خنک‌تر و خشک‌تر از هوای بیرون است. در نتیجه، کاربرد آن به عنوان هوای ثانویه می‌تواند، بیش از آن چیزی که با استفاده از تجهیزات و توان مصرفی امکان‌پذیر است، هوای اولیه را خنک نماید. هوای شسته شده استفاده شده، بیش از حد مرطوب است و نمی‌تواند هوای ثانویه باشد (به شکل ۷ مراجعه کنید).

قلب تمام کولرهای تبخیری غیرمستقیم، سطوح تبادل گرمایی است که هوای اولیه را از هوای ثانویه و آبی که تبخیر می‌شود جدا نگه می‌دارد. این سطوح می‌توانند گرما را از هوای اولیه جذب نموده و آن را برای مرطوب سازی هوای ثانویه‌ای انتقال دهند که آن را به خارج دفع می‌کند. این سطوح می‌توانند به صورت صفحات، ورق‌ها یا لوله‌های پلاستیکی یا فلزی بوده یا حتی به شکل چرخ‌های گردنده‌ای از فلزات متخلخل باشند. آن‌ها می‌باید گرما را به راحتی منتقل کرده، دو جریان هوا را از یکدیگر دور نگاه داشته و در عین حال در برابر خوردگی مقاوم باشند.

مرحله بندی و تطبیق اقلیمی

به صورت ویژه، سرمایش تبخیری غیرمستقیم دو مرحله‌ای بیشتر به اقلیم‌های مرطوب مربوط است. در هنگام پیش سرمایش هوای کولرهای تبخیری مستقیم، ممکن است سطح جغرافیایی برای سرمایش تبخیری مستقیم سه برابر شود. در هنگام پیش سرمایش هوا برای سرمایش برودتی، به نظر می‌رسد به برخی نواحی که نیاز به سرمایش دارند راه پیدا نمی‌کند.

در خشک‌ترین نواحی، کولرهای غیرمستقیم نیازمند تعداد بیشتری از این سطوح، و دو جریان هوا هستند. بسته به اختلافات میان دمای خشک و مرطوب هوا، و همچنین بازده انتقال حرارت، معمولاً این وسایل ساده می‌توانند، با و یا بدون اثر بازیابی، هوای خنک را برای سرمایش اتاق‌ها تولید کنند.

در مناطق مرطوب‌تر، هوای اولیه به سرمایش بیشتری نیاز دارد که این کار به راحتی با کولرهای تبخیری مستقیم مرحله دوم انجام می‌شود. آن‌ها هوای اولیه را تا حداکثر میزان ممکن خنک کرده و اغلب آن را در دمای کمتر از دمای مرطوب هوای بیرون تحویل داده و به یک هوای تغذیه مطلوب

برای سرمایه‌ش اتاق‌ها تبدیل می‌کنند. با این حال، مرحله دوم تبخیری مستقیم، هوا را برای استفاده در بازیابی، بیش از حد مرطوب می‌سازد.

در مناطقی که باز هم مرطوب‌تر هستند، هوای اولیه در مراحل برودتی کوچک خنک شده و این مسئله رطوبت آن را پایین آورده و آن را برای سرمایه‌ش اتاق‌های دارای هوای مرطوب مناسب می‌سازد. اگر هوای برگشتی از اتاق‌ها خنک‌تر و خشک‌تر از هوای خارج باشد، استفاده از آن به عنوان هوای ثانویه، منجر به ایجاد (بهره‌وری) بازیابی می‌شود که پیش‌تر خاطر نشان شد.

نوع دوم اثر بازیابی نیز در صورتی امکان‌پذیر است که از هوای ثانویه خروجی از کولرها برای خنک نمودن چگالنده (کندانسور) مرحله دوم برودتی استفاده شود. از آنجا که هوای ثانویه استفاده شده، معمولاً بسیار خنک‌تر از هوای خارج است، مصرف توان کمپرسور بسیار پایین می‌آید.

تحقیقات انجام شده توسط مولف

در سال‌های ۱۹۵۲ و ۱۹۵۳، "مرکز تحقیقات آزمایشگاه مهندسی عمران نیروی دریایی ایالات متحده" از تحقیقات مولف در زمینه سرمایه‌ش تبخیری حمایت مالی نمود. همه مقالات موجود جمع‌آوری شدند، تجهیزات مهم و صاحب‌نظران مورد بازدید و مصاحبه قرار گرفتند، و واحدهای برج و کویل به همراه چهار واحد غیرمستقیم صفحه‌ای ساخته و آزمایش شدند که یکی از آن‌ها دو مرحله‌ای بود. هدف، ساخت ارزان‌ترین واحد ممکن برای پایگاه‌های هوایی نیروی دریایی بود.

دو مبدل حرارتی صفحه‌ای، با جوش دادن ورق‌های آلومینیومی خمیده ساخته شدند. هر دو آن‌ها دارای صفحه‌های توخالی چندگانه ۴۸ اینچی (۱/۲۲ m) با پهنای ۱۲ اینچ (۳۰/۵ cm) بودند. یکی از آن‌ها دارای ضخامت $\frac{3}{8}$ in (۹/۵ mm) و دیگری دارای ضخامت $\frac{1}{4}$ in (۶/۴ mm) بود. مساحت آن‌ها ۱۴۳ و ۱۷۰ فوت مربع (۱۳/۳ و ۱۵/۸ m²) بود.

وقتی آن‌ها به صورت عمودی درون محفظه‌های دارای افشانه رو به پایین جای گرفتند تا با هوای ثانویه جریان رو به بالای ما بین صفحات در تماس قرار بگیرند، به دو کولر تبدیل شدند. در عین حال، هوای اولیه دمیده شده به فضاهای خشک، بر خلاف جریان آب حرکت نموده و به صورت هوای تغذیه عمل کرده و، بسته به سرعت، تا افت دمای مرطوب ۶۹٪ خنک می‌شد. یکی از کولرها هوای خنک تغذیه را به صورت کنار گذر به سمت مرطوب جریان می‌داد که مشاهده شد هیچ گونه اثر بازیابی خالصی ندارد.

سپس، اولین مبدل حرارتی به صورت افقی با یک دمنده به کار گرفته شد که هوا را در هر دو گذرگاه مرطوب و خشک به حرکت در می‌آورد. میزان افشانه واقع در انتهای دمنده ناکافی بود و سرمایش غیرمستقیم به ندرت می‌توانست از ۳۳٪ فراتر برود. با این حال، با استفاده از یک مرحله دوم مستقیم، میزان صرفه اقتصادی به ۱/۷ Btu در هر وات به ازای هر درجه فارنهایت افت دمای مرطوب (۳/۱ J/watt/deg C) می‌رسید (به شکل ۶ این فصل مراجعه کنید).

به دنبال این طرح، چهارمین دستگاه توسط یکی از دوستان به نام George Brady ساخته شد که دارای ۲۵ لوله تخت افقی فولاد گالوانیزه موازی با انتهای باز به طول ۴ ft (۱/۲ m) و ارتفاع ۲ ft (۶۱ cm) و ضخامت $\frac{1}{4}$ in (۶/۴ mm) و فاصله $\frac{5}{16}$ in (۷/۹ mm) از هم بود. مساحت انتقال گرمای کلی این دستگاه ۳۷/۳ مترمربع بود. یک فن گریز از مرکز، هوا را به داخل و میان لوله‌ها می‌دمید که توسط یک دمپر کنترل می‌شد، در همان حال شیپوره‌های چرخشی کم فشار، آب را به پایین دیواره خارجی می‌افشانند. این دستگاه تک مرحله‌ای بود.

علیرغم مشکلات مرطوب‌سازی بیش از ۶۰٪ سطح فلز، این کولر هوا را تا ۷۲٪ افت دمای مرطوب خنک نموده و ۱/۵ تن به ازای هر کیلو وات (۱۹ kJ/min) تحویل می‌داد. امروزه این مقدار معادل EER برابر ۱۷/۹ است، که دو برابر مقدار متوسط در سیستم برودتی است. به نظر می‌رسد که بازدهی آن در هوای گرم‌تر دو برابر باشد.

آزمایش در دو تابستان در تگزاس انجام شد و زمان چندانی برای اصلاح دستگاه‌ها وجود نداشت. با این حال داده‌های مناسبی حاصل شد که مولف و همکارش مرحوم پروفیسور R.A. Bacon، آن‌ها را به فرمول‌های پایه ترمودینامیک کولرهای غیرمستقیم صفحه‌ای تبدیل کردند. اولین نسخه این کتاب در ۱۹۶۳ منتشر شد (به شکل ۱ این فصل مراجعه کنید).

در هنگامی که مولف گزارش ۱۹۵۳ خود شامل تاریخچه، تحلیل و آزمایشات را به نیروی هوایی تحویل داد، به نظر می‌رسید که سرمایش تبخیری غیرمستقیم طور کامل برچیده شود. این تنها Neal Pennington در شهر توسان بود که کولرهای غیر مستقیم را می‌ساخت که مدت کوتاهی بعد تولید خود را متوقف ساخت.

به نظر می‌رسد که پیشامدهای به‌وجودآمده این گزارش را تصدیق کرده باشند. امروزه حداقل ۹ شرکت آمریکایی و یک شرکت استرالیایی به شکل منظم در حال ساخت این کولرها بوده و قراردادهای بیشتری برای ساخت آن‌ها بسته می‌شود.

پیشینه نوع صفحه‌ای

کولرهای تبخیری غیرمستقیم صفحه‌ای فوق، هوای اولیه را در داخل لوله‌های جدار نازک فلزی یا پلاستیکی خنک می‌کنند که بیرون آن‌ها مرطوب بوده و در معرض هوای ثانویه در حال حرکت قرار دارد. به واسطه رسانش سریع، تبخیر در سمت مرطوب "برج خنک‌کن" و جذب حرارت در سمت خشک این برج به طور هم‌زمان انجام می‌شود.

در اثر گرمای محسوس هوای ثانویه و آب درون برج و همچنین هوای اولیه سمت خشک، آب تبخیر می‌شود. فرمول‌های اشباع آدیباتیک نمی‌توانند مورد استفاده قرار گیرند چرا که لایه در حال تبخیر، از طریق دیواره لوله گرما دریافت می‌کند.

یک کولر مدرن صفحه‌ای

کولرهای غیرمستقیم مشابه چیزی که توسط مولف ساخته شد، به شکل مستقل در نیوجرسی ساخته شده و بیشتر به عنوان مبدل حرارتی هوا به هوا برای بازیابی گرمای اتلافی تکمیل شدند. برای مثال در زمستان، هوای گرم تهویه استفاده شده، از طریق آن‌ها برای پیش گرمایش هوای تازه خارجی تخلیه می‌شود. هیچ گونه قطعه متحرکی در آن‌ها وجود ندارد، اما لازم است تا به کانال و فن متصل شوند.

بر طبق گزارشات، این دستگاه‌ها می‌توانند تا ۷۵٪ از انرژی از دست رفته را صرفه‌جویی کنند، به طوری که هزاران دستگاه از این نوع استفاده شده که شامل دستگاه‌های خانگی نیز می‌شود. وقتی لازم است تا هوای تهویه شده پر هزینه خارج شود تا آلودگی، گرما و رطوبت را تخلیه نماید، بر طبق گزارش، این دستگاه‌ها می‌توانند در طول یک سال هزینه خود را در بیاورند.

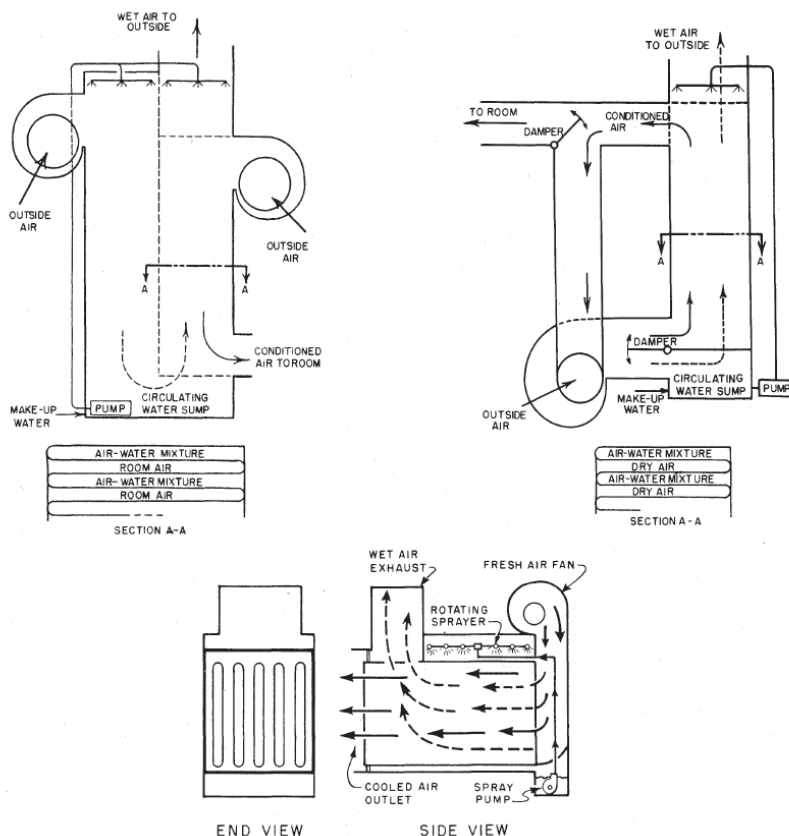
این مبدل‌های حرارتی، با استفاده از صفحه‌های آلومینیومی آکاردئونی ساخته می‌شوند که چندین مجرای عمودی تخت را برای دو جریان هوا می‌سازند که تنها از طریق فلز از یکدیگر جدا می‌شوند. تجهیزات در یک کابین مدولار فولادی گالوانیزه، با اندازه‌های مختلف نصب می‌شوند. صفحه‌ها و محفظه‌های داخلی می‌توانند از فولاد آلیاژی و یا روکش شده با مواد فنولی (نوعی رزین) ساخته شوند. برای سبکی وزن، این محفظه‌ها می‌توانند از آلومینیوم ساخته شوند.

در ۱۹۷۶، وقتی افشانه‌های آب به سمت مرطوب صفحات آلومینیومی تفکیک‌کننده جریان هوا اضافه شدند، این مبدل‌های حرارتی به کولر تبخیری غیر مستقیم تبدیل شدند. در ابتدا، آب نمی‌توانست گردش کرده و پس از پاشش دفع می‌شد. این کار ساده بوده و تشکیل رسوب بر روی صفحات را به

تعویق می‌انداخت، ولی موجب افزایش هزینه آب شده و در نتیجه بر اساس مقررات محلی، کاربرد پمپ‌های گردش دهنده آب الزامی شد.

در مطالعه یک ساختمان در شهر دنور، یک سیستم سرمایش مستقیم-غیر مستقیم که از واحدهای فوق استفاده می‌کرد، سرمایش با EER برابر ۱٫۷۶ ایجاد می‌کرد که قابل مقایسه با یک واحد برودتی ۶۰ تنی با EER برابر ۸ است. با به کارگیری تنظیمات حدود ۵۰٪ برای اتلاف تخلیه هوای شسته شده به خارج از ساختمان (به فصل ۱۷ مراجعه کنید). مقدار EER به ۳٫۸ رسیده و صرفه‌جویی در مصرف برق به ۷۹٪ می‌رسید. دوره بازگشت سرمایه کمتر از سه سال بوده و در صورت استفاده از هوای گرم جبرانی در زمستان، می‌توانست به زیر این زمان نیز برسد.

با این تجربه، این شرکت خط تولید ۹ کولر کامل مستقیم-غیر مستقیم (PIDC)^۱ را به وجود آورد که خروجی‌های آن‌ها در سطح دریا از ۱۷۰۰ تا ۱۷،۰۰۰ cfm (۱۷،۰۰۰ m³/min) ۱/۴-۴۸/۴۸۱ بوده و در برابر مقاومت استاتیک اندک، مقدار ۱/۳ تا ۱۳/۱ hp مصرف می‌کردند. آن‌ها اساساً ایستگاه‌های سرمایش مرکزی یا گرمایش-سرمایش با فن‌های تأمین هوای جریان افقی یا فروباد و عناصری برای گرمایش با استفاده از گاز، آب گرم یا بخار هستند.



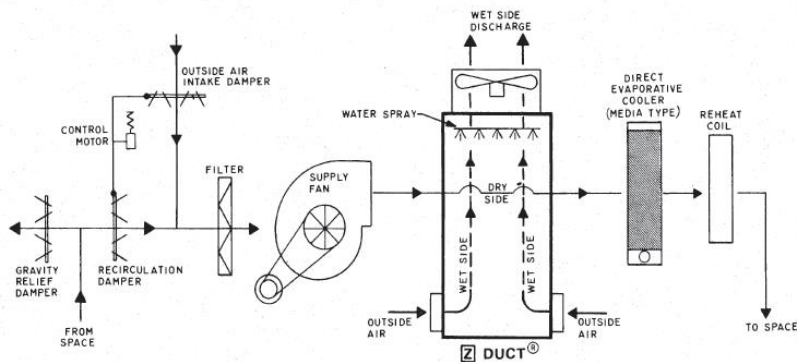
شکل ۱- کولرهای غیر مستقیم نوع صفحه‌ای مولف در ۵۳-۱۹۵۲. در سمت چپ-بالا کولری با ۱۴۳ فوت مربع (۱۳/۳ متر مربع) صفحات آلومینیومی لخت خم شده مطابق شکل زیرین آن است که از هم $\frac{1}{8}$ in (۹/۵ mm) فاصله داشتند. این کولر دارای ضریب تاثیر سرمایه‌ش ۶۴ درصد و سرعت هوای اولیه ۱۷۱۰ fpm (۸/۷ m/s) در بین صفحات و نسبت وزن هوای اولیه به ثانویه ۱/۷ بود. کولر سمت راست دارای ۱۷۰ فوت مربع (۱۵/۸ متر مربع) صفحات آلومینیومی با فاصله $\frac{1}{4}$ in (۶/۴ mm) از هم و ضریب تاثیر سرمایه‌ش ۶۹ درصد بوده و جریان‌های یکسانی از هوا داشت که نسبت وزن آب به هوای ثانویه ۰/۶ بود. هیچ اثر بازبایی مفیدی از هوای اولیه خنک شده نسبت به جریان هوای ورودی مشاهده نشد. در شکل پایین نیز کولر تک فن افقی ساخته دوست مولف مشاهده می‌شود که مولف آن را تکمیل کرده و مورد آزمون قرار داد. این کولر ۲۵ صفحه به مساحت ۴۰۲ فوت مربع (۳۷/۳ متر مربع) با فاصله $\frac{1}{4}$ in (۶/۴ mm) از هم داشت. علیرغم مشکلات مربوط به مرطوب‌سازی، این کولر ۰/۹۶ تن سرمایه‌ش محسوس را که معادل با EER برابر ۱۷/۹ است تحویل می‌داد. با استفاده از افشانه‌های بهتر و شرایط آب و هوایی آزمون، امکان سه برابر شدن عملکرد وجود داشت. در اثر مرور ایام توسعه این کولر انجام نشده ولی به نظر می‌رسد که طرح کلی آن شایسته تحقیق بیشتری است.

مراحل غیرمستقیم، جریان متقاطع هستند: هوای اولیه فیلتر شده به صورت افقی عبور کرده و هوای ثانویه توسط اگزوز فن‌های پروانه‌ای هوای مرطوب فوقانی، به صورت عمودی و به سمت بالا حرکت می‌کند و در عین حال، افشانه‌ها باعث می‌شوند که لایه‌های آب به پایین دیواره صفحه برسند.

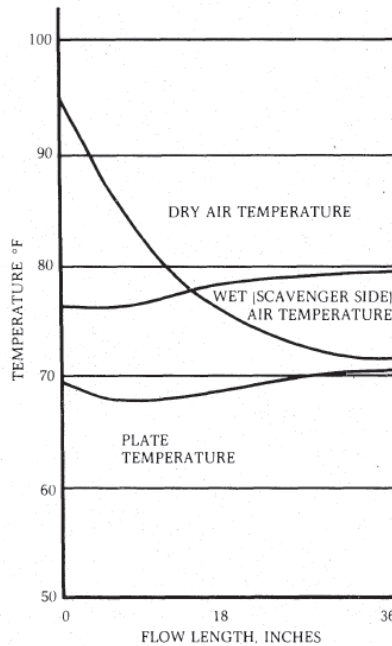
مراحل غیرمستقیم دارای بازدهی سرمایش اسمی ۰.۸۰٪ هستند. برای کولر بزرگ‌تر از ۱۰,۰۰۰ (۴/۷ m³/s) این مقدار می‌تواند تا ۸۱ درصد نیز افزایش پیدا کند. مراحل مستقیم با ماده واسط صلب دارای بازده اسمی ۰.۸۹٪ هستند. این ترکیب می‌تواند EER سرمایش هوا را تا ۱۰۰ برساند که ۱۲ برابر بیشتر از بسیاری از دستگاه‌های برودتی است (به شکل ۲ این فصل مراجعه کنید).

علاوه بر کولرهای کامل مستقیم-غیر مستقیم، مدول‌های ساده مستقیم-غیر مستقیم نیز در هشت اندازه به بازار عرضه می‌شوند. آن‌ها دارای هر دو مرحله سرمایش هستند، اما فاقد تجهیزات اختلاط هوای با دمپر خودکار، فیلترهای هوا، فن تغذیه هوا و گزینه گرمایش موجود در کولر کامل هستند. فلنچ‌های هر دو سر این مدول موجب تسهیل ادغام آن با سیستم‌های عادی می‌شوند (به شکل ۳ مراجعه کنید).

اگر این کولرها دارای آب دور ریز کافی و مواد شیمیایی برای تصفیه آب جهت محدودسازی رسوبات بوده و امکان دسترسی به مبدل حرارتی برای پاک‌سازی سالانه دیواره‌های صفحه مرطوب (از طریق برس کشیدن) را داشته باشند، به جز مناطق ساحلی، بازار آن‌ها تقریباً جهانی خواهد شد. در مقایسه با کولرهای دارای مواد مرطوب‌کننده جذبی آلی با طول عمر نامعین، این کولرها دارای زمان خاموشی کمتر و هزینه‌های نگهداری پایین‌تری هستند.



شکل ۲- طرحواره کولر کامل مستقیم-غیر مستقیم با نام تجاری Des Champs. در بالا، نمای ظاهری کولر نصب شده در پشت بام مشاهده می‌شود. در پایین نیز طرحواره یک مدل اندکی متفاوت به نمایش گذاشته شده‌است. وقتی در حین گرمایش، مرحله مستقیم بیکار است یا در هنگامی که مرحله غیرمستقیم کل بار سرمایشی را بر عهده دارد، هوای بیرون از طریق یک دمپر موتوردار در بالا-چپ وارد شده و با هوای برگشتی از فضای تهویه شده از طریق دمپرها (دیگر سمت چپ) مخلوط می‌شود. وقتی هر دو مرحله سرمایش فعال هستند، هوای شسته شده استفاده شده تخلیه می‌شود (منتهی‌الیه سمت چپ) و هیچ اختلاطی رخ نمی‌دهد. به هر حال، هوای اولیه از فیلترهای گرد و غبار، دمنده تغذیه‌کننده هوا، مرحله سرمایش غیر مستقیم، مرحله سرمایش مستقیم و یک کویل گرمایش (به صورت اختیاری) گذر می‌کند. سپس به عنوان هوای تغذیه به فضاهای مورد نظر داده می‌شود.



شکل ۳- رفتار دمایی درون مبدل‌های حرارتی نوع صفحه‌ای Des Champs. در این نمودار دما در محور عمودی و مسافت پیموده شده هوای اولیه از بین صفحات در محور افقی است. پیمایش متوسط ۴۵/۷ cm و کل پیمایش ۹۱/۴ cm است. توجه شود که دمای صفحه، که عملاً بر فرآیند سرمایش حاکم است، کمترین بوده و در حدود مقدار ثابت ۷۰ F (۲۱/۱ C) است. هوای مرطوب تقریباً ۱۰ deg F (۵/۶ deg C) گرم‌تر است. در عین حال، هوای اولیه ورودی با دمای ۹۵ deg F (۳۵ C) تدریجاً به میزان ۲۳ deg F (۱۲/۸ deg C) خنک شده و به حدود ۱ deg F (۰/۶ deg C) بالاتر از دمای صفحه می‌رسد.

یک کولر صفحه‌ای دیگر

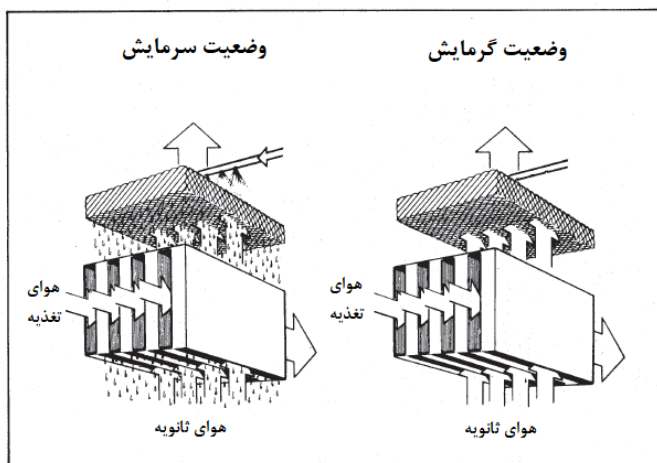
یک سازنده کولرهای غیرمستقیم که از چرخ‌های مبدل حرارتی پنینگتون بهره می‌گیرد، کولرهای غیرمستقیم صفحه‌ای (یا با لوله تخت توخالی) را نیز برای بارهای سرمایش بین پنج و ۲۰ تن (۶۳/۳ و ۲۵۳/۲ kJ/hr) می‌سازد.

این کولرها دارای چندین لوله افقی باریک، نازک و عمیق هستند که بر روی لبه قرار داشته و در حالی که آب روی آن‌ها جاری می‌شود، جریان هوای اولیه از آن‌ها عبور می‌کند و به صورت جریان مخالف با هوای ثانویه‌ای است که از بین آن‌ها صعود می‌کند. آن‌ها با استفاده از دیواره لوله آلومینیومی موج داری که از مواد جاذب فتیله مانند پوشیده شده، ضریب تاثیر را تقویت کرده و موجب اطمینان از مرطوب سازی ۱۰۰٪ می‌شوند. همچنین توزیع آب نیز بهتر انجام شده و در بالای لوله‌ها، پدهای

تبخیری با ماده واسط صلب افقی، افشانه شیپوره بالاسری را به ریزش رو به پایین مرطوب‌کننده تبدیل می‌کنند.

در حین حرکت لایه‌ای رو به پایین از طریق ماده واسط صلب، آب با هوای ثانویه در حال صعود برخورد کرده و، پیش از آن که به لوله‌ها برسد، همانند برج خنک‌کن خنک می‌شود. هوای ثانویه در درون آب سرد دمیده شده و همزمان تبخیر سطحی انجام گشته و در نتیجه هوای داخلی حداکثر سرمایه‌ش محسوس را دریافت می‌کند (به شکل ۴ این فصل مراجعه کنید).

بر طبق گزارشات، سیستم‌های غیرمستقیم ساده دارای بازده انتقال حرارت ۰.۸۴٪ تا ۰.۸۷٪ هستند. با افزودن مرحله دوم به کولر مستقیم با ماده واسط صلب با بازده ۰.۹۰٪، مقدار EER سرمایه‌ش هوا تا ۶۰ می‌رسد که شش تا ۱۰ برابر سرمایه‌ش برودتی است. با کاهش ۰.۵۰٪ از EER، به خاطر اتلاف تخلیه هوای شسته شده، این سیستم‌های مستقیم-غیر مستقیم می‌توانند با توان برودتی مشابه، ۳ تا ۵ برابر فضای بیشتری را خنک کنند.



شکل ۴- نحوه توزیع آب در کولرهای غیرمستقیم صفحه‌ای با نام تجاری Norsaire. در کولرهای غیر مستقیم، جهت حداقل‌سازی هزینه پمپاژ ضروری است که بیشترین سطح مرطوب شود. بدین منظور برخی از تولیدکنندگان نظیر Norsaire بر روی سطوح مرطوب از مواد جاذب استفاده می‌کنند. در سمت چپ، از لایه‌های ماده واسط صلب در بالای صفحات استفاده می‌شود تا در مقایسه با افشانه، آب به صورت یکنواخت‌تری توزیع شده و فشار پمپ نیز کمتر باشد. در سمت راست، مقاومت پایین ماده واسط صلب در برابر جریان هوا، اجازه می‌دهد تا در طی فصل زمستان، که کولر به عنوان وسیله بازیاب عمل می‌کند، نیازی به برداشتن آن نباشد. هوای تهویه شده استفاده شده، به عنوان هوای ثانویه، از میان صفحات کولر به صورت صعودی تخلیه شده و هوای جبرانی ورودی راه، که بعداً به عنوان هوای ورودی برای مقاصد گرمایشی به کار می‌رود، گرم می‌کند.

هفت مدل ساخته شده دارای فن، فیلتر، و غیره هستند. توان خروجی اسمی و عملکرد آن‌ها در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱- مشخصات کولرهای غیر مستقیم صفحه‌ای

خروجی هوای شسته شده	ظرفیت سرمایش هوا در 95F (35C) dbt, 65F (18.3C) wbt	دمای هوای شسته شده
3,700-5,800 cfm (1.7-2.7 m ³ /s)	96,000-144,000 Btuh 101,280-151,920 kJ/hr	58F-58.5F 14.4C-14.7C
5,500-8,500 cfm (2.6-4.1 m ³ /s)	142,000-213,000 Btuh 149,810-224,715 kJ/hr	58F-58.8F 14.4C-14.9C
7,400-11,660 cfm (3.5-5.5 m ³ /s)	192,000-287,000 Btuh 202,560-302,785 kJ/hr	58F-58.8F 14.4C-14.9C
9,200-14,400 cfm (4.3-6.8 m ³ /s)	238,000-357,000 Btuh 251,090-376,635 kJ/hr	58F-58.8F 14.4C-14.9C
11,000-17,200 cfm (5.2-8.1 m ³ /s)	285,000-427,000 Btuh 300,675-450,485 kJ/hr	58F-58.8F 14.4C-14.9C
12,900-20,200 cfm (6.1-9.5 m ³ /s)	334,000-501,000 Btuh 352,370-528,555 kJ/hr	58F-58.8F 14.4C-14.9C
14,700-23,000 cfm (6.9-10.9 m ³ /s)	381,000-570,000 Btuh 401,955-601,350 kJ/hr	58F-58.8F 14.4C-14.9C

کولرهای صفحه‌ای استرالیایی

استرالیا سرآمد تکامل علمی کولرهای غیرمستقیم صفحه‌ای است. در دهه‌های ۶۰ و ۷۰ Donald Pescod و همکاران در "سازمان تحقیقات علمی و صنعتی مشترک‌المنافع (CSIRO)"^۱ در ایالت ویکتوریا، پیشرو استفاده از پلاستیک به جای فلز به عنوان صفحه و ایجاد تلاطم مضاعف برای حداقل-سازی لایه‌های هوای ساکن بودند.

همچنین آن‌ها بخش‌های انتقال گرما را وارد محفظه‌های فشرده‌ای نموده و این کار را از طریق قرار دادن صفحه‌ها به یکدیگر تا فاصله دو میلی‌متر (۰/۰۷۹ in) از هم انجام نمودند. با استفاده از لایه‌های هوا در سمت خشک که موجب ایجاد یک مقاومت عمده در برابر جریان حرارت می‌شود، مزیت رسانش‌پذیری فلز نسبت به پلاستیک ناچیز می‌شود زیرا ضخامت پلاستیک حداکثر ۰/۲۸ mm (in) است.^{۱۱}

پلاستیک در برابر تخریب و خوردگی مقاوم است و به لحاظ ساختاری تناسب بیشتری دارد، زیرا اختلاف فشار هوا در میان دو سمت ناچیز بوده و دما نیز معمولاً زیر ۵۰ C (۱۲۲ F) بود.

در آزمایشات اولیه از استات سلولز، پلی استیرن، و پلی وینیل کلراید (PVC) صلب نسبتاً ارزان استفاده شد. مورد آخر بهترین بود، زیرا استحکام و دوام زیادی داشت و ضخامت آن تنها ۰/۲ (۰/۰۸ in) بود. مبدل‌های حرارتی اولیه در برابر گرما درزبندی بوده یا لبه‌های آن‌ها به صورت الکترونیکی جوش داده می‌شد تا گذرگاه‌های متناوبی را به صورت متعامد و جریان متقاطع برای هواهای اولیه و ثانویه ایجاد کنند. درزبندی آخر از طریق غوطه‌ور سازی در رنگ انجام می‌گرفت، که قابلیت مرطوب‌سازی را نیز افزایش می‌داد.

سطوح فرورفته

از آنجا که جریان هوا در میان سطوح تخت، در سرعت‌های مجاز و فضاهای بین صفحه‌ای، اساساً به صورت آرام بود و در نتیجه برای نرخ تبادل گرمای بالا نامناسب بود، دستگاه‌های ایجاد تلاطمی تأدیه شدند. در ابتدا، از طریق قرارگیری صفحه‌های نرم شده با گرما بر روی قالب چوبی، بیرون‌زدگی‌هایی در پلاستیک به وجود آمدند. با اعمال مکش در زیر صفحه‌ها، پلاستیک پس از سرد شدن، در اطراف این نقاط کشیده می‌شد.

بدین ترتیب، بیرون‌زدگی‌های ایجاد شده توسط خلأ با ارتفاع سه میلی‌متر (۰/۱۲ in) و قطر متوسط ۱/۳ تا ۱/۸ میلی‌متر (۰/۰۵ in تا ۰/۰۷ in) در فواصل ۶/۷ تا ۱۳/۴ میلی‌متر (۰/۲۶ in تا ۰/۵۳ in) از یکدیگر قرار می‌گرفتند. وقتی آن‌ها به صورت غیرخطی بر روی صفحات رویی قرار می‌گرفتند، منجر به ایجاد گذرگاه‌های موثری شده و از نظر ساختاری واحدهای صلبی بودند. به عنوان مبدل‌های حرارتی هوا به هوا، این دستگاه‌ها تلاطم کافی داشتند، و وقتی سرعت هوای ورودی از ۰/۳ تا ۱ m/s (۵۹ تا ۱۹۷ fpm) تغییر می‌کرد، نرخ تبادل گرما و افت فشار بیش از سه برابر صفحه‌های تخت بود.

عملکرد

وقتی که سطوح مربوط به گذرگاه‌های عمودی، برای سرمایه‌ش غیرمستقیم مرطوب سازی می‌شدند، به ویژه پس از آنکه محلول‌های مرطوب‌سازی یا آب به سطح اضافه شدند، نرخ تبادل گرما باز هم افزایش پیدا می‌کرد. در غیر این صورت، پس از ۵۰ تا ۱۰۰ ساعت فعالیت، لایه‌های باریک آهکی بر روی صفحه‌ها تشکیل می‌شدند که به مرطوب سازی کمک می‌نمودند.

برای اطمینان از حداکثر مرطوب سازی سطح موثر، از افشانه‌های کم فشاری استفاده می‌شد که نرخ آن‌ها ۲۰ تا ۳۰ برابر نرخ تبخیر مورد انتظار بود. به طور معمول، از آب دور ریز یا جریان سریع آب به کار گرفته می‌شد.

در ابتدا، حجم هوای ورودی به سمت‌های خشک و مرطوب برابر بود، اما جریان آب در گذرگاه‌های مرطوب، در زمانی که هوا و آب به سمت پایین حرکت می‌کردند منجر به افزایش اتلاف فشار هوای مرطوب به میزان ۱۲ تا ۱۵ درصد شده و در زمانی که هوای در حال صعود با آب در حال سقوط برخورد می‌کرد تا ۴۰ درصد می‌رسید. البته کاهش جریان هوای سمت مرطوب به میزان ۲۰ تا ۳۰ درصد منجر به کاهش این اتلاف بدون اثرگذاری قابل ملاحظه بر روی خروجی می‌شد.

برای اعداد رینولدز و استانتون مختلف، ضریب اصطکاک، ضریب جابجایی، ضریب تاثیر تبادل گرما و سرمایش در مورد فواصل مختلفی از صفحه و گل‌میخ مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند. برای کارکرد سرمایش غیرمستقیم، پارامترهای زیر بهترین موارد به نظر رسیدند:

– جریان متقاطع: جریان مرطوب رو به پایین، جریان خشک به صورت افقی

– فاصله صفحات: ۲/۲ میلی‌متر (۰/۰۸۷ in)

– قطر متوسط برجستگی: ۱/۳ میلی‌متر (۰/۰۵۱ in)

البته، فاصله بین برجستگی‌ها بر روی تلاطم، افت فشار و ضریب جابجایی اثر می‌گذارد، که خود می‌تواند روی اندازه و تعداد صفحات اثرگذار باشد. فاصله ۹/۵ میلی‌متر (۰/۳۷ in) و ۱۳/۴ میلی‌متر (۰/۵۳ in) بهترین فواصل، برای حمل جریان هوای دلخواه، به نظر رسیده و دو مبدل حرارتی با نرخ خروجی $1 \text{ m}^3/\text{s}$ (۲،۱۱۹ cfm) و ویژگی‌های زیر را ارائه کردند:

13.4 mm (0.53 in.)	9.5 mm (0.37 in.)	فاصله بین برجستگی‌ها:
460 by 460 mm (18.11 in.) ²	530 × 530 mm (20.87 in) ²	اندازه صفحه:
0.87 m ² (9.36 sq ft)	0.83 m ² (8.93 sq ft)	مساحت وجه ورودی مبدل:
0.40 m ³ (14.13 cu ft)	0.44 m ³ (15.54 cu ft)	حجم مبدل:
860	715	تعداد صفحات:
182 m ² (1,959 sq ft)	201 m ² (2,162 sq ft)	مساحت تخمینی:
85%	85%	ضریب تاثیر کلی:

سرمایش محسوس پیش‌بینی شده $6/28 \text{ kW}$ یا $357/4 \text{ Btu}$ بود. افت فشار محاسبه شده در مبدل‌ها در حدود 83 Pa ($0/33 \text{ in W.G.}$) بود، که با مقاومتهای مورد انتظار در ورودی و خروجی می‌توانست تا 100 kPa ($0/4 \text{ in W.G.}$) برسد^۱.

مطالعات تئوری دو محقق استرالیایی به نام‌های I.L.Macline و P.J.Banks در سال ۱۹۸۱ بر اساس تئوری برج خنک‌کن جریان متقاطع نشان داد که کولرهای پسکاد^۲ از طریق افزایش جریان آب به پایین گذرگاه مرطوب، بازدهی بالاتری دارند. اگر جریان کمتری از طریق سطوح مویین پارچه‌ای شکل متصل به پلاستیک سمت مرطوب توزیع می‌شدند، در صورت استفاده از مرطوب‌سازی بیشتر مجاری، محاسبات حتی کارآیی بیشتری را نشان می‌داد. در جایی که ضریب تاثیر سرمایه‌ش اندازه‌گیری شده کولر پسکاد بین ۶۹ و ۸۲ درصد بود، آن محققین، بر طبق محاسبات، مقدار ۷۸ تا ۹۸ درصد را محتمل دانستند.

همانند پسکاد، دو محقق فوق، کولرهای غیرمستقیم بازیاب و مراحل ثانویه تبخیری مستقیم پیشنهادی را تأیید کردند^۳.

کولرهای پسکاد

دستگاه‌های آقای پسکاد توسط شرکت PHE Pty Ltd در استرالیا ساخته می‌شود. اندازه اولیه مناسب برای مجتمع‌های اداری کوچک و سازمان‌ها و منازل، $1/5 \text{ m}^3/\text{s}$ (3178 cfm) از هوای خارج را می‌کشید. بر طبق گزارشات، صدها دستگاه از آن‌ها نصب شده‌اند که عمدتاً مربوط به اتاق‌های تجهیزات مخابراتی بودند که پیش‌تر در تابستان‌های گرم با خرابی‌های زیادی مواجه می‌شدند. این تجهیزات و چراغ‌های مورد استفاده در اتاق، گرمای قابل ملاحظه‌ای را به وجود می‌آوردند که اغلب به اندازه‌های داغ می‌شدند که با استفاده از هوای خارجی کانال کشی شده قابل دفع نبودند.

۱- برای اطلاعات بیشتر در زمینه تئوری، تحلیل و محاسبات طراحی مراجعه کنید به:

Donald.Pescod, "Unit Air Cooler using Plastic Heat Exchanger with Evaporatively Cooled Plates." Australian Refrigerating, Air Conditioning and Heating, 1968, 22 (9):22.

Donald Pescod, "Effects of Turbulence Promoters on the Performance of Plate Heat Exchangers." Chapter 22 in *Heat Exchangers: Design and Theory Sourcebook*, McGraw-Hill, 1974.

Donald Pescod, "A Heat Exchanger for Energy Savings in an Air Conditioning Plant," *ASHRAE Transactions*, 1979. Vol. 85, Part 2, Paper No. 2542, pp. 238-251.

Donald Pescod, "An Advance in Heat Exchanger Geometry Giving Increased Heat Transfer," *ASME Symposium*, Chicago, November 1980

2- Pescod cooler

3- I.L. Maclaine-cross and P.J. Banks, "A General Theory of Wet Surface Heat Exchangers and its application to Regenerative Evaporative Cooling," *The ASME Journal of Heat Transfer*, Vol. t03, pp. 579-85, August 1981

به طور معمول، این دستگاه‌ها در خارج از ساختمان نصب می‌شوند و هوای تأمین را تحویل داده و هوای برگشتی را از طریق کانال، پنجره یا دهنه‌های نصب شده در دیوار دفع می‌کنند. برخی از آن‌ها در بالکن نصب می‌شد تا بتوان به سمت تجهیزات داخلی کانال‌کشی انجام داد. همه آن‌ها به صورت بازبایی و با استفاده از هوای برگشتی برای استفاده در سمت مرطوب عمل می‌کنند. در همه آن‌ها هوای ورودی فیلتر می‌شود.

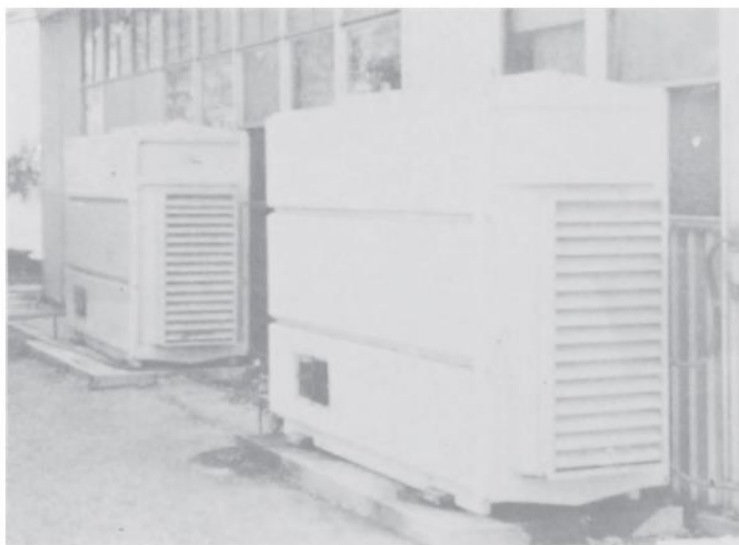
در یکی از تاسیسات اولیه، سه دستگاه از این نوع، ۵۲۰ متر مربع (۵۵۹۷ sq ft) فضا را با بار گرمایی داخلی ۲۷ kW، ۹۷/۲۸ kJ/hr (۹۲،۲۰۳ Btuh) یا ۷/۶۸ تن به علاوه بار خارجی بالا، خنک می‌کردند. دو تا از دستگاه‌ها، تجهیزات داغ را از طریق هشت دریچه خروجی سقفی خنک می‌کردند و دستگاه سوم، بخش‌های دفتری را خنک می‌کرد.

در ساختمان دیگر، دو کولر در خارج از یک دیوار بلند، یک کانال عمودی را در امتداد سطح داخلی تغذیه می‌کردند. این کانال دارای هفت دریچه خروجی هم فاصله بود که به صورت افقی بر فرار ماشین‌آلات داغ می‌دمیدند. منطقه خنک شده ۱۴۲ مترمربع (۱۵۲۸ فوت مربع) و دارای بار داخلی ۳ kW، ۱۰/۸۱ kJ/hr (۱۰،۲۴۵ Btuh) بود. بسته به آب و هوای خارجی، یک یا هر دو کولر کانال را تغذیه می‌کردند. در هر دو ساختمان، هوای برگشتی از میان و اطراف دستگاه‌های الکتریکی به کولرها بر می‌گشتند.

طراحی و عملکرد آن‌ها

این کولرها متشکل از کابین‌های مکعب مستطیلی فایبرگلاس با طول سه متر، پهنای یک متر و ارتفاع دو متر (۹/۸۴ در ۳/۲۸ در ۶/۵۶ فوت) هستند. در یکی از طرف‌های طولی، یک دریچه خروجی هوای خنک منطبق با طول و ارتفاع مبدل‌های حرارتی درونی وجود دارد. در زیر آن یک ورودی هوای برگشتی، با اندازه تقریباً مشابه وجود دارد.

مبدل حرارتی جریان متقاطع با طول ۱/۵۷ متر (۵/۱۵ ft) و ارتفاع و عرض ۵۳۰ میلی‌متر (۲۰/۸۷ in) به صورت افقی در داخل یک دهنه فوقانی قرار می‌گیرد و هوای خنک را به صورت افقی عرضه می‌کند.



شکل ۵- دو کولر پسکاد در حالت نصب شده. این کولرها در ابتدا برای دفع حرارت از تجهیزات مخابراتی در تلفنخانه‌ها بوده و در بیرون پنجره یا بالکن نصب می‌شدند. در این کولرها هوای اولیه تازه و مقداری هوای اولیه از یک سر از طریق فیلترهای گرد و غبار وارد می‌شوند. سپس پس از خنک شدن هوا به صورت تک مرحله‌ای، کانال‌ها (در شکل مشاهده نمی‌شوند) هوای اولیه را از طریق پنجره به دهنه‌های خروجی بالای دستگاهی می‌دهند که باید خنک شود. درست در زیر این کانال‌ها، هوای برگشتی توسط دریچه‌هایی به درون محفظه (پلنوم) هوای ثانویه که در زیر مبدل حرارتی قرار دارد کشیده می‌شود. این هوا از طریق گذرگاه مرطوب درون مبدل به بالا رفته و تخلیه می‌شود. دستگاه‌ها به طور معمول یک طبقه هستند. هوای شسته شده می‌تواند به تجهیزات صدمه زده و نیازی به مرحله دوم برودی نیست. به علاوه، بازیابی از طریق استفاده مستقیم از هوای برگشتی می‌تواند به نحو فزاینده‌ای باعث تقویت عملکرد شود. هر دستگاه cfm ۳۱۸۰ (۱/۵ m³/s) تحویل می‌دهد. البته مدل ۱۰۵۹ (۰/۵ m³/s) نیز ساخته می‌شود.

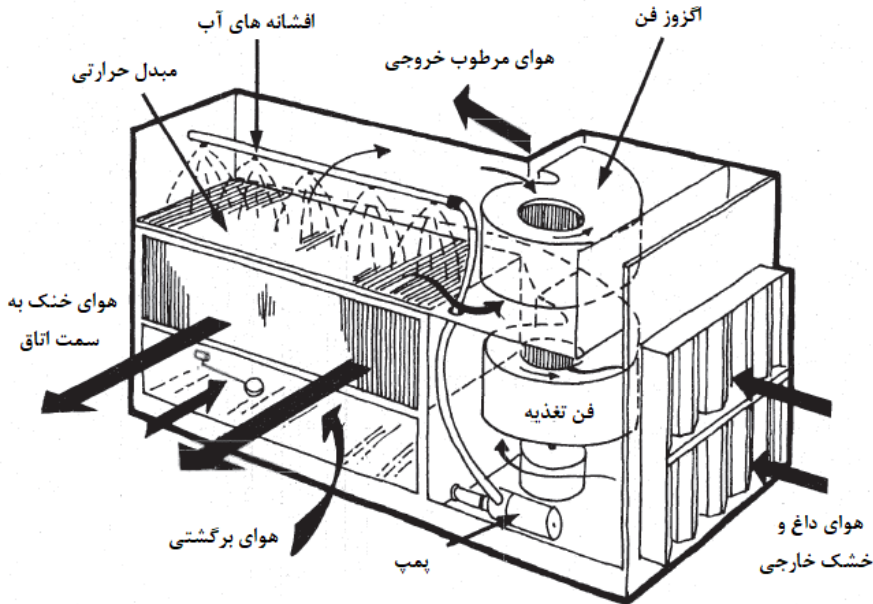
در آزمایشات اولیه، از هوا و آب به صورت جریان مخالف رو به پایین در مسیرهای عمودی مبدل حرارتی استفاده می‌کردند. این مسئله منجر به استفاده از جریان آب رودخانه‌ای به جای جریان لایه‌ای شد. در نتیجه جریان هوا معکوس شد و نسبت به آب به سمت بالا می‌رفت و جریان رو به پایین را کند کرده و با پخش لایه‌ای موجب افزایش سطح مرطوب می‌شد. بدین ترتیب، هوای برگشتی از زیر وارد مبدل حرارتی شده و از میان قطرات آب می‌گذرد، و به سمت مسیرهای سمت مرطوب عمودی بالا می‌رود.

در بالای مبدل حرارتی، شیپوره‌های متعددی وجود دارند که آب را در داخل مسیرهای باریکی بر روی آن می‌پاشند. در حدود ۵۰ سانتی‌متر (۲۰ in) زیر مبدل حرارتی، یک مخزن (حوضچه) آب بزرگ، قطرات آب را جهت گردش جمع‌آوری می‌کند. این مخزن شامل یک شیر شناور برای دریافت آب تازه

و سرریز و دهانه‌هایی برای آب دور ریز است. در یک سر دیگر در بیرون، یک پمپ الکتریکی برای تأمین توان افشانه‌ها وجود دارد.

در این سر بدنه (کابینت)، دریچه‌های شبکه‌ای بزرگ ورود هوای خارجی، توسط فیلترهای گرد و غبار محافظت می‌شوند. در داخل دریچه‌ها، یک موتور سه سرعته با شفت عمودی قرار دارد که دو فن گریز از مرکز با شفت عمودی، با فاصله از هم، در بالای آن بوده که توسط یک صفحه تیغه‌ای از یکدیگر جدا می‌شوند. موتور چند سرعته امکان تنظیم خروجی را برای بار تابستانی و زمستانی داده و در هوای معتدل در هر دو فصل، صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای را در مصرف برق ایجاد می‌کند.

فن فوقانی، از طریق دهنه هوای برگشتی و از طریق مسیر مبدل حرارتی سمت مرطوب، که لایه آب به پایین آن حرکت می‌کند، هوا را به داخل می‌کشد. پس از جذب گرما در مبدل حرارتی، این هوای ثانویه که هم اکنون حاوی آب تبخیر شده است، توسط فن به خارج منتقل می‌شود. بدین ترتیب، طرف مرطوب، به صورت بازیاب، هوای برگشتی را مورد استفاده قرار می‌دهد.



شکل ۶- طرحواره یک کولر غیرمستقیم تک مرحله‌ای استرالیایی از نوع پسکاد با صفحات نازک فرو رفته از جنس پلی وینیل کلراید (PVC) با فاصله ۳ تا ۴ میلی‌متر (۰/۰۸ تا ۰/۱۶ in) از هم. هوای اولیه بیرون، از طریق فیلترهای سمت راست وارد شده و اغلب آن وارد فن تغذیه‌کننده (در وسط) شده و از پشت به صورت افقی، به مبدل حرارتی جریان متقاطع پلاستیکی وارد شده و از سمت مجاور در چپ بیرون آمده و تا حدود ۸۵ درصد افت دمای مرطوب خنک می‌شود.

مقداری از هوای تازه ورودی به پشت و زیر مبدل حرارتی جریان یافته و با هوای خشک برگشتی از اتاق‌های خنک‌شده، که از سمت چپ-پایین وارد می‌شود، مخلوط می‌شود. یک اگزوز فن واقع بر روی همان شفت فن تغذیه‌کننده و موتور آن، مخلوط هوای ثانویه را از طریق مسیرهای مبدل حرارتی که توسط افشانه‌های آب حاصل از پمپ مرطوب نگه داشته می‌شود به بالا می‌کشد. هوای مرطوب خروجی به بیرون تخلیه شده و آب اضافی به مخزن (حوضچه) زیر مبدل باز می‌گردد.

همزمان، فن زیرین، هوای خارج را از طریق فیلترها به داخل می‌کشد و آن را در مسیرهای افقی هوایی خشک مربوط هدایت می‌کند. در اینجا، گرما به مخلوط هوا-آب در مسیر هوای مرطوب منتقل شده و خنک می‌گردد. سپس فن آن را به داخل کانال تعبیه شده جریان می‌دهد.

در اینجا مرحله دوم سرمایه‌ش برودتی یا سرمایه‌ش تبخیری مستقیم رایج نیست. عرضه این دستگاه در بازار، اساساً برای سرمایه‌ش تجهیزات است و نه افراد، در نتیجه به دمای پایین هوای تغذیه نیاز نیست. مسلماً، افزایش فروش دستگاه‌های سرمایه‌ش آسایش‌بخش می‌تواند موجب تشویق برای ارائه مرحله دوم باشد. البته، استفاده از کولر، برای بازیابی گرمای ازدست‌رفته در زمستان متداول است.

در آزمایشگاه‌ها، بر روی کولرهای ساخته شده به صورت نمونه، آزمایشات گسترده‌ای انجام شد. داده‌های جمع‌آوری شده در ۱۹۸۰، تحت شرایط مرجع استاندارد دمای خشک C ۳۵ (F ۹۵) در خارج، دمای خشک C ۲۷ (F ۸۰/۶) در داخل و دمای مرطوب C ۱۹ (F ۶۶/۲) برای هوای برگشتی، نشان دهنده عملکردهای سرمایه‌ش زیر است^۱.

1- Donald Pescod and R.K. Prudhoe, "Application of CSIRO Plate Heat Exchangers for Low Energy Cooling of Telecom Buildings", Telecommunication Journal of Australia, Vol. 30, No.2 1980.

جدول ۲

سرعت فن	کم	متوسط	بالا
Primary Air Flow, m ³ /s	0.72	0.87	1.32
Primary Air Flow, cfm	1,526	1,843	2,797
Primary Air Pressure, Pa	+180	+160	+70
Primary Air Pressure, in. w.g.	+0.72	+0.64	+0.28
Secondary Air Flow, m ³ /s	0.71	0.71	1.00
Secondary Air Flow, cfm	1,504	1,504	2,119
Air Flow Ratio, Secondary to Primary	0.99	0.82	0.76
Cooling Effectiveness, %			
Mean	88	84	82
Min	83	80	71
Max	92	90	89
Fan Power, kW	1.21	1.28	1.68
Ratio Fan Power: Secondary to Primary	1.68	1.47	1.27
Sensible Cooling Capacity			
Gross, kW	17.6	19.9	29.2
Gross, kJ/hr	63.41	71.7	105.2
Gross, Btuh	60,102	67,957	99,715
Net, kW	5.3	5.7	8.2
Net, kJ/hr	19,096	20,537	29,544
Net, Btuh	18,099	19,465	28,002

منظور از Gross sensible cooling حرارت دفع شده از کل هوای اولیه و از ساختمان است.

Net sensible cooling عبارت از حرارت دفع شده از تنها ساختمان است.

بر طبق گزارشات، این دستگاه‌ها در زمستان ۷۰ تا ۷۵ درصد از گرمای از دست‌رفته در هوای تخلیه شده ساختمان را باز می‌گردانند.

از سال ۱۹۸۱، یک دستگاه بزرگ پسکاد برای سرمایش یک خانه در فونیکس آریزونا مورد استفاده قرار گرفته‌است. در شرایط اواسط تابستان، با دمای خشک ۱۱۰-۱۰۵ درجه فارنهایت (۳۳-۳ C) ۴۰/۶، به جز چند روز بعدازظهر، دمای داخل ساختمان زیر ۸۰ درجه فارنهایت (۲۶/۷ C) بوده‌است. مصرف برق این دستگاه ۱/۸ kW به ازای هر ۲۰۰۰ cfm (۰/۹۴ m³/s) هوای تحویلی است و آن را در حد ۴/۸ تن با ضریب عملکرد ۹/۳ تا ۳۰ deg F (۱۶/۷ deg C) خنک می‌کند. EER این دستگاه برابر ۳۱/۸ و در حدود چهار برابر دستگاه برودتی هم ارز است.

همچنین سازنده، کولرهایی با اندازه حدود ۱/۳ دستگاه‌های فوق را می‌سازد. این کولرها، جریانی حدود ۰/۵ m³/s (۱۰۵۹ cfm) را می‌کشند و برای بسیاری از ساختمان‌ها و آپارتمان‌ها مناسب هستند.

در کارکردهای غیر صنعتی، تغییرات کاربری امکان‌پذیر است. برای مثال، اضافه کردن مراحل ثانویه سرمایه‌ش مستقیم می‌باید دمای داخل ساختمان را پایین بیاورد و سرمایه‌ش محسوس کلی را افزایش دهد، اما همچنین نیازمند آن است که از بازیابی هوای برگشتی صرف‌نظر شود. اثر خالص روی میزان صرفه‌جویی نامشخص است، اما این‌گونه مرحله بندی می‌باید محدوده جغرافیایی بازار را تا حد زیادی افزایش دهد. همچنین، کاربردهای بالقوه متعددی از این کولرها، نیازی به هوارسانی هوای تازه به شکل پیوسته ندارند. همچون سرمایه‌ش برودتی، و تنها با افزودن پنج تا ۱۵ درصد هوای جبرانی (در صورت نیاز) می‌باید جنبه اقتصادی از طریق گردش مجدد اغلب هوای تغذیه افزایش پیدا کند.

یک کولر صفحه‌ای جدید

بزرگ‌ترین تولیدکننده کولر آبی، یک کولر پیشرفته غیرمستقیم را به صورت یک مرحله اول انتخابی برای کولرهای مستقیم کوچک دارای یک پد از ماده واسط صلب مورد اشاره در فصل ۱۲ را عرضه کرده‌است. این کولرها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که روی پشت بام نصب می‌شوند. مجموعاً، دو پکیج مستقیم-غیر مستقیم کوچک، برای مکان‌های مسکونی و شرکت‌های تجاری کوچک، با قیمت رقابتی با سرمایه‌ش برودتی، به وجود آمدند.

مدول غیرمستقیم، دارای مبدل‌های حرارتی است که از ردیف‌های عمودی صفحه‌های پلاستیکی متشکل است که به شکل لوله‌های تخت متعددی درآمده‌اند و تمام آن‌ها در یک سر و مجاور یکدیگر، در بالای تشت آب قرار دارند. پمپ‌های کوچک در زیر، آب را در داخل لوله‌های توخالی و با انتهای باز به سمت پایین به گردش در می‌آورند، در حالی که فن‌های پروانه‌ای با محور عمودی در بالا، هوای ثانویه تازه خارجی را، بر خلاف جریان آب، از میان آن‌ها به حرکت درمی‌آورند و آن را از بالا تخلیه می‌کنند.

در عین حال دمنده‌های مرحله غیرمستقیم، هوای اولیه تازه خارجی را، به شکل افقی از میان فیلترهای گرد و غبار و از میان صفحه‌های دارای فواصل نزدیک به داخل کشیده و در حدود ۴۳ تا ۵۳ درصد از گرمای محسوس قابل انتقال آن‌ها را دفع می‌کنند. سپس این هوا وارد مدول‌های سرمایه‌ش مستقیم می‌شود که در آن، ماده واسط صلب به صورت آدیاباتیک آن را خنک کرده و دمنده‌ها آن را برای سرمایه‌ش اتاق و ساختمان هدایت می‌کنند.

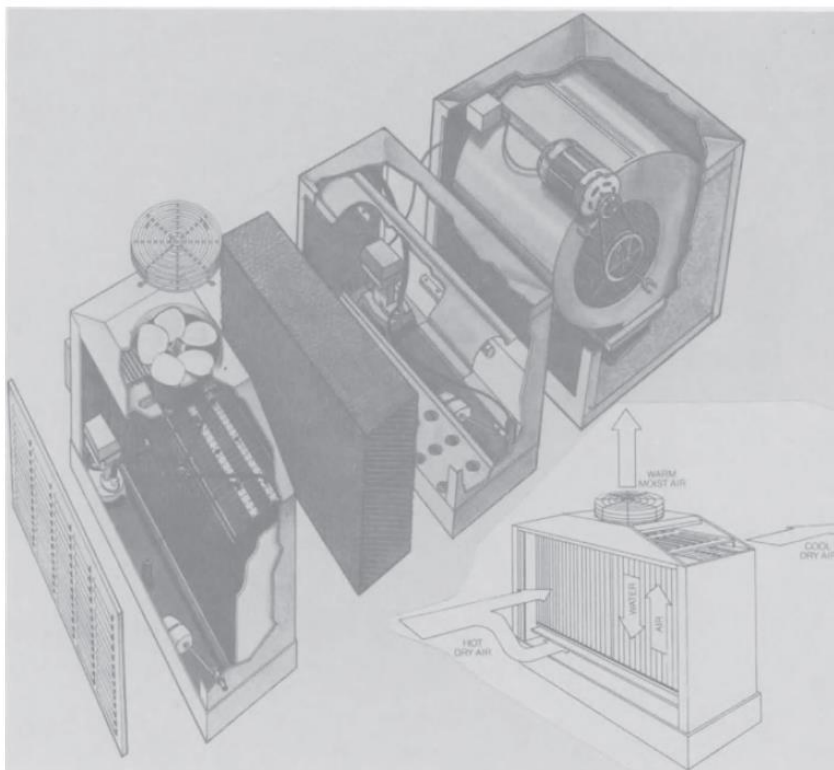
صفحه‌های آن

صفحه‌ها منحصراً از ورق‌های پلاستیکی (پلی استیرن) انعطاف‌پذیری نازک ساخته شده‌اند که نصف شده و به صورت دائمی به شکل لوله‌های توخالی تخت به هم متصل هستند. نیمه‌های صفحه‌ها از

صفحه‌های تختی تشکیل شده‌اند که گرما-نرم شده‌اند و سپس از طریق خلائی دارای پره‌های افقی به ارتفاع $in \frac{3}{16} (4/8 \text{ mm})$ ، با فواصل $in \frac{1}{8} (9/5 \text{ mm})$ ، و با سفتی مورد نظر می‌شوند. در هنگامی که نیمه‌های صفحه‌ها بر روی هم سوار می‌شوند، آن‌ها مسیرهای عمودی عبور آب و هوا را به طول $in \frac{1}{4}$ (۱۰ cm) $(26/7)$ ، و عرض $in \frac{1}{8} (3/2 \text{ mm})$ و عمق حدود $in \frac{3}{4} (25/4 \text{ cm})$ ایجاد می‌کنند.

وجوه داخلی، به واسطه وجود پره‌های بیرون زده، زبر هستند. این موضوع و سرعت‌های به کار گرفته شده موجب تضمین تلاطم و انتقال حرارت بالا توسط هوای مرطوب می‌شود. سطوح داخلی از طریق سطوح مخملی کرک‌دار مصنوعی دارای قابلیت فوق مرطوب‌شدگی بیشتری می‌شوند که در حقیقت این کرک‌ها، رشته‌های بسیار کوتاه و باریکی هستند که به صورت الکترواستاتیکی قرار گرفته و عمود بر پلاستیک می‌چسبند. آن‌ها شبیه فتیله، نیروهای موئینگی را ایجاد می‌کنند که منجر به نزول لایه‌های نازک آب (نه به صورت قطره‌ای) بر روی سطوح می‌شوند، تا از حداکثر سطح مرطوب برای تبادل گرمای اطمینان حاصل شود. آب مازاد در تشت زیرین فرو می‌ریزد. در نتیجه، هوای ثانویه صعودکننده عمودی در صفحه‌ها، از مجاور و بین لایه‌های آب نزولی در دو طرف گذشته و با تبخیر آب مورد نیاز، هوای اولیه خشک را خنک می‌نماید. به‌طور هم‌زمان، این هوا به صورت جریان متقاطع از بین صفحه‌هایی حرکت می‌کند که $in \frac{1}{4} (6/4 \text{ mm})$ از هم فاصله ۶.۴ داشته و این مسئله موجب تلاطم مناسبی برای نازک نمودن لایه‌های هوای ساکن شده و در نتیجه انتقال گرما به شکل مناسبی اتفاق می‌افتد.

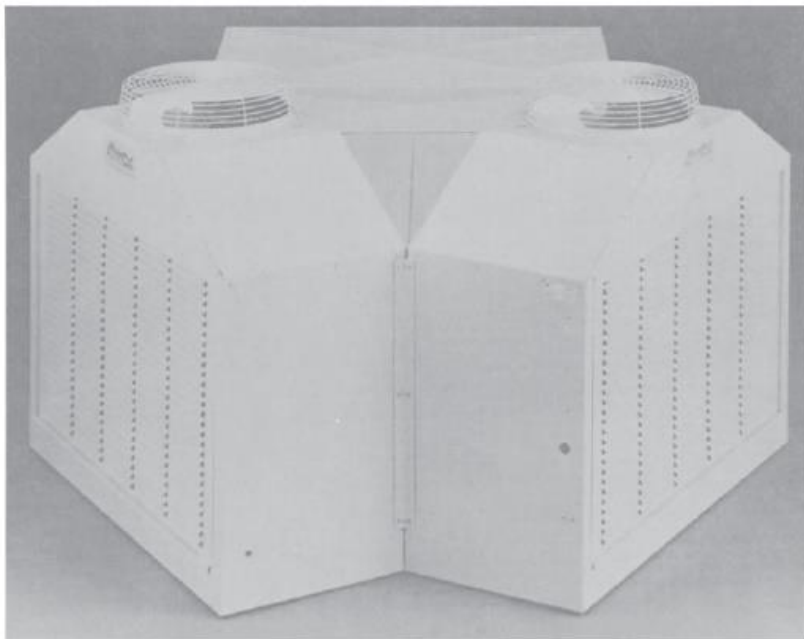
در حدود $cfm 800 (0/38 \text{ m}^3/s)$ از هوای ثانویه موجب خنک شدن $cfm 3100 (1/5 \text{ m}^3/s)$ از هوای اولیه به میزان حدود ۴۳ درصد افت دمای مرطوب می‌شود. در هنگامی که دو کولر غیرمستقیم، یک کولر مستقیم را تغذیه می‌کنند، در حدود $cfm 3900 (1/8 \text{ m}^3/s)$ به میزان ۵۳٪ خنک می‌شود که این امر با دو برابر کردن زمان تماس هوای خشک با صفحات به دست می‌آید. مدل‌های بعدی دارای درصد سرمایه‌ش بهتری هستند (به شکل ۸ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۷- نمایش بخش‌های کولر کامل (پکیج) غیر مستقیم-مستقیم با نام تجاری Arvin MasterCool. در سمت چپ، پانل کرکره‌ای هوای ورودی قرار دارد که هوای اولیه را از بالا و هوای ثانویه را از پایین دریافت می‌کند. هوای اولیه وارد مرحله غیر مستقیم جریان متقاطع از صفحات پلاستیکی، دارای ماده جاذب بر روی وجوه مربوط به هوای ثانویه، می‌شود. به طور همزمان، هوای ثانویه از پایین وارد مسیرهای عمودی مرطوب بین صفحات شده و بین دو لایه آبی که از ماده جاذب پایین می‌آید شروع به صعود می‌کند. جریان آب توسط پمپی برقرار می‌شود که درون تشت (حوضچه) زیرین قرار داشته و دارای آبراهه‌های دوگانه‌ای از بالا است. آب اضافی به حوضچه (تشت) برگشته و هوای ثانویه از طریق فن پروانه‌ای، که به همراه حفاظ خود نشان داده شده، خارج می‌شود. بر طبق گزارشات، هوای اولیه که تا ۴۳ درصد دمای مرطوب بیرون خنک می‌شود، می‌تواند با استفاده از یک مرحله مستقیم با ماده واسط صلب که دارای پمپ و تشت مخصوص به خود است، به میزان بیشتری خنک شود. سپس این هوا وارد فن گریز از مرکز شده و 3100 cfm ($1/5 \text{ m}^3/\text{s}$) هوای تغذیه را تشکیل می‌دهد. مسیر جریانات مختلف در کولر مستقیم قابل مشاهده است.

به دلیل مرطوب‌سازی یکنواخت در درون صفحه‌ها، آب نسبتاً کمی باید در آن‌ها تغذیه شود. پمپ‌های غوطه‌ور کوچک در مخازن آب، دو آبراه کوچک، متقاطع با قسمت فوقانی ردیف صفحه‌ها، را تغذیه می‌کنند. آن‌ها دارای دیواره‌های حلزونی شکلی هستند که بر فراز تمام لوله‌های هوای مرطوب قرار دارند. در داخل آبراه‌ها، فتیله‌هایی با شاخه‌های جانبی وجود دارد که تا نقاط پایین حلزونی، در دو

طرف، امتداد پیدا کرده و سپس به قسمت فوقانی لوله می‌رسند، که در آن، آب به آسترهای جاذب می‌رود. این می‌تواند آب را به صورت یکنواخت به چهار نقطه در قسمت فوقانی هر لوله منتقل کند تا علیرغم ناترازی کولر، از توزیع صحیح آب اطمینان حاصل شود.



شکل ۸- یک کولر Arvin MasterCool با دو مرحله اولیه. این کولر تماس طولانی‌تری بین هوای اولیه در مرحله غیرمستقیم داشته و جریان حجمی خروجی را در حالی به 3900 cfm ($1/8 \text{ m}^3/\text{s}$) افزایش می‌دهد که ضریب تاثیر سرمایش تا ۵۳ درصد افزایش می‌یابد. این مدل برای مکان‌های با رطوبت متوسط یا برای نقاطی که به دماهای خروجی پایین‌تر نیاز است توصیه می‌شود.

تحلیل و عملکرد

این سیستم، مستقل از سیستم‌های پیشرو پسکاد به نظر می‌رسد، هر چند که از صفحه‌های پلاستیکی دارای برجستگی در نتیجه گرما که در کنار هم قرار گرفته‌اند، اصول جریان متقاطع، حرکت جریان مخالف آب و هوای ثانویه و مسیرهای مرطوب با فواصل بسیار نزدیک به هم نیز بهره می‌گیرد.

در حالی که پسکاد با استفاده از نقاط برجسته کوچک متعدد، تلاطم را در هوای اولیه افزایش می‌دهد، این کولر فضاهای هوای خشک ضخیم‌تر را با استفاده از پره‌های صاف برجسته‌ای تقسیم می‌کند تا

با افزایش مساحت، انتقال گرما را افزایش داده و همچنین احتمالاً موجب کاهش افت فشار و هزینه‌های برق فن شود.

صفحه‌های مبدل حرارتی جریان متقاطع PHE به صورت مربعی هستند و در نتیجه مسیرهای جریان خشک و مرطوب را برابر می‌سازند. در اینجا، صفحه‌های جریان متقاطع دارای ارتفاعی در حدود $\frac{1}{3}$ برابر پهنا بوده و احتمالاً مقایسه با هوای اولیه، زمان تماس بسیار طولانی‌تری برای آب و هوای مرطوب را در مبدل حرارتی ایجاد می‌کنند. این که چرا این دو طرح متفاوت هستند مشخص نیست. شاید بتوان از دو پیشنهاد Maclaine و Banks، یعنی آستر جاذب فضاهای مرطوب و حداقل جریان آب استفاده کرد.

این کولرهای کامل (پکیج) دو مرحله‌ای، در دو اندازه کابین و با دمنده های $\frac{1}{4}$ ، $\frac{3}{4}$ و ۱ اسب بخار دو سرسته ساخته شده و می‌توانند دارای تخلیه افقی یا رو به پایین (فروباد) باشند. خروجی‌های تأیید شده هوای شسته شده بر حسب مقاومت‌های استاتیک رایج عبارتند از:

جدول ۳- جریان دو مرحله‌ای بر حسب مقاومت

مدل	دمنده HP	Watts	W.G. (Pa)	0.0" (0.0)	0.1" (24.9)	0.2" (49.8)	0.3" (74.7)	0.4" (99.6)	0.5" (124.5)
کوچک	$\frac{1}{2}$	1120	cfm (m ³ /s)	2270 (1.07)	2130 (1.01)	1980 (0.93)	1830 (0.86)	1680 (0.79)	1520 (0.72)
	$\frac{3}{4}$	1320	cfm (m ³ /s)	2770 (1.31)	2580 (1.22)	2360 (1.11)	2160 (1.02)	1910 (0.90)	1690 (0.80)
بزرگ	$\frac{3}{4}$	1320	cfm (m ³ /s)	3260 (1.54)	3040 (1.43)	2880 (1.36)	2760 (1.30)	2610 (1.23)	2460 (1.16)
	1	1540	cfm (m ³ /s)	3320 (1.57)	3240 (1.53)	3120 (1.47)	3000 (1.42)	2900 (1.37)	2760 (1.30)

تحت شرایط طراحی آب و هوایی یک درصدی ASHRAE برای شهرهای زیر، بر طبق گزارشات، این کولرهای دو مرحله‌ای، از دستگاه‌های کولر رقیب موجود بهتر هستند.

جدول ۴- عملکرد و صرفه جویی کولر دو مرحله‌ای

شهر	دماهای بیرونی*		اختلاف	تن تبرید معادل**	EER دو مرحله‌ای	صرفه جویی سالانه	
	کولر آبی	کولر دو مرحله‌ای				8.9 EER	6.9 EER
Phoenix	78.7F (25.9C)	69.8F (21.0C)	8.9F (4.9C)	3.1	33	\$331.	\$520.
Tucson	73.8F (23.2C)	64.2F (17.9C)	9.6F (5.3C)	5.2	40	533	687
Denver	66.1F (18.9C)	56.8F (13.8C)	9.3F (5.2C)	7.9	54	240	327
Las Vegas	74.6F (23.7C)	64.2F (17.9C)	10.6F (5.9C)	5.2	47	603	758
Salt Lake City	69.3F (20.7C)	60.1F (15.6C)	9.2F (5.1C)	6.7	51	329	437
Albuquerque	68.2F (20.1C)	58.9F (14.9C)	9.3F (5.2C)	7.1	50	338	447
El Paso	71.4F (21.9C)	62.2F (16.8C)	9.2F (5.1C)	5.9	44	507	661
Lubbock	75.0F (23.9C)	68.1F (20.1C)	6.9F (3.8C)	3.8	33	233	315
San Bernardino	76.6F (24.8C)	69.0F (20.6C)	7.6F (4.2C)	3.4	39	237	311
میانگین	72.6F (22.6C)	63.7F (17.6C)	8.96F (5.0C)	5.37	43.4	\$372.33	\$495.8

* کارکرد نسبت به مقاومت استاتیک (0.3 in. w.g. (74.6 Pa)

** تن تبرید معادل محاسبه شده با نسبت گرمای محسوس داخلی ۸۳٪. صرفه جویی بر حسب ۷ سنت در کیلو وات ساعت و تنظیم ترموستات در 80F (26.7C) است

البته، قبل از مقایسه با EER برودتی، مقادیر EER دو مرحله‌ای را باید برای اتلاف هوای شسته شده از اتاق‌ها ۵۰٪ کاهش داد.

در سال‌های آینده از این کولر مستقیم-غیر مستقیم بیشتر خواهیم شنید.

توان دهی خورشیدی

جالب است که یک شرکت کالیفرنایی، این کولرهای دو مرحله‌ای را با منبع توان فتوولتائیک به بازار عرضه می‌کند. به ویژه، پانل‌های خورشیدی که روی بام ساختمان قرار می‌گیرند، نور خورشید را به الکتریسیته تبدیل کرده، که در باتری‌هایی ذخیره شده و برای دوره‌های کوتاه مدت، در هنگامی که خورشید موقتاً در دسترس نیست، آن را به کولر تغذیه می‌کنند.

در غیر این حالت، سلول‌های خورشیدی، موتورهای پمپ و فن را به حرکت در آورده و در صورت نیاز، از باتری‌ها نیز در این مورد استفاده می‌شود. در شب هنگام، کلیدهای اتوماتیکی این سیستم‌ها را به برق شهری وصل می‌کنند.

با استفاده از این تجهیزات، بر طبق گزارشات کولرهای با ظرفیت‌های $\frac{1}{4}$ ، $\frac{3}{4}$ و ۱ اسب بخار می‌توانند ۴۲۰۰ تا ۶۵۰۰ cfm (۱/۹۸ تا ۳/۰۷ m³/s) هوای شسته شده را با SEERS بین ۷/۵ تا ۹/۹ تحویل دهند. این صرفه‌جویی اقتصادی فصلی، بیشتر از سرمایه‌ش برودتی نیست، اما صرفه‌جویی مستقیم در هزینه برق می‌تواند در اقلیم‌های پر نور سودمند باشد.

جلوگیری از رسوب

کولرهای صفحه‌ای غیرمستقیم بدون ایجاد رسوب نیستند. در مقایسه با لوله‌های کویل‌های پره‌دار، آن‌ها احتمالاً دارای مساحت ۵۰ تا ۱۰۰ برابر، برای ایجاد رسوب بوده و در نتیجه کاهش انتقال گرما به آهستگی انجام می‌شود. در برخی موارد، رسوب محدودیت کمتری دارد و باید با هزینه کمتری زوده شود. در اینجا این طرح‌ها مهم هستند:

۱. باید امکان پاک‌سازی صفحه‌ها، بدون باز کردن آن‌ها، وجود داشته باشد. در دهه ۳۰، در کولرهای پرنوت (Pernot)، برس‌های دارای دسته‌های بلند یا تخته‌های چوبی، بدون آن که در عملکرد کولرها اختلال ایجاد شود، امکان زدایش رسوب از صفحات را فراهم می‌کردند، چرا که هوای ثانویه از بالا وارد آن‌ها می‌شد.
۲. هوای ثانویه می‌باید از طریق فیلترهای قابل تعویض بزرگ وارد شده تا از ورود گرد و غبار به صفحه‌های مرطوب جلوگیری شود.
۳. وجود آب دور ریز کافی مناسب کاملاً ضروری است، به خصوص در جایی که مبدل‌های حرارتی، به دلیل عدم دسترسی یا به خاطر ظرافت مواد، قابل پاک‌سازی نیستند.
۴. همچنین استفاده از شیرهای تخلیه خودکار نیز پیشنهاد می‌شود، که تخلیه مخزن را پس از خاموش شدن فراهم کرده تا امکان استفاده از آب تازه به وجود بیاید.
۵. در جایی که رسوبات سخت و چسبنده است، پیشنهاد می‌شود که از مواد تصفیه‌کننده شیمیایی بهره گرفته شود.
۶. برای جلوگیری از گرفتگی، شیپوره‌های افشاننده باید دارای روزنه‌های (اریفیس‌های) بزرگ یا انعطاف‌پذیر باشند و پمپ‌ها باید در برابر ورود آشغال محافظت شوند.

۷. به جز در جایی که صفحه‌ها از مواد دائمی ساخته می‌شوند، تعویض طولانی مدت آن‌ها باید مدنظر قرار بگیرد. طول عمر برخی صفحات با روکش جاذب نامشخص است.

پرسش‌های دوره‌ای

۱. تفاوت هوای اولیه و ثانویه را بگویید. کدام یک مرطوب می‌شود و کدام یک خشک می‌ماند؟ کدام یک از آن‌ها گرمای محسوس خود را بدون ورود گرمای نهان از دست می‌دهد؟ کدام یک از آن‌ها گرمای محسوس را از دست می‌دهد و گرمای نهان را می‌گیرد؟ چه چیزی این تفاوت را ایجاد می‌کند؟ کدام یک به هوای تغذیه تبدیل می‌شود و کدام یک خارج می‌گردد؟
۲. شکل معمول بازیابی در کولرهای غیرمستقیم چیست؟ آیا شما می‌توانید با هوای شسته شده استفاده شده یا هوای تهویه شده خروجی از آشپزخانه یا رختشویخانه از بازیابی استفاده کنید؟ چرا رطوبت منجر به نقصان در فرآیند در سمت مرطوب می‌شود؟
۳. رابطه میان انواع مرحله دوم مورد استفاده و دامنه جغرافیایی احتمالی کولرهای غیرمستقیم را شرح دهید. در مناطق خشک کدام یک بیشترین راحتی را به دست می‌دهد؟ در مناطق معتدل کدام؟ در مناطق نیمه مرطوب کدام؟ کدام انواع تبرید می‌توانند به سیستم‌های غیرمستقیم با مراحل ثانویه تبرید کمک کنند؟ مزیت این کار چیست؟
۴. به چه ترتیبی کولرهای غیرمستقیم صفحه‌ای می‌توانند برج‌های خنک‌کن و سطوح سرمایشی را با تنها چند میلی‌متر فاصله از یکدیگر داشته‌باشند؟ آیا اصول آدیاباتیک در این امر دخیل هستند؟ چرا؟ در مورد صفحه‌های لخت چه مشکلات مرطوب سازی وجود دارد؟ آیا کولرهای غیرمستقیم می‌توانند گرما را در زمستان ذخیره کنند؟ شرح دهید. رابطه بازیابی گرمای زاید با نیازهای تهویه ساختمان چیست؟ آیا کولرهای غیرمستقیم می‌توانند در آب و هوای سرد در مصرف سوخت صرفه‌جویی کنند؟ توضیح دهید.
۶. چگونه کولرهای غیرمستقیم منطبق با به دستگاه‌های بازیابی گرمای زاید، می‌توانند بدون تعدد اندازه، به ظرفیت سرمایش مورد نیاز دست پیدا کنند؟ کدام مواد باید مورد استفاده قرار بگیرند؟ کدام مواد اختیاری هستند؟ چه صرفه‌جویی‌هایی را می‌توان با استفاده از کولرهای تک مرحله‌ای در مصرف برق انجام داد؟
۷. در نصب کولرهای مذکور برای سراسر سال، کدام دستگاه‌ها می‌توانند تغییر گرمایش-سرمایش را آسان و سریع انجام دهند؟ آیا استفاده از این کولرهای غیرمستقیم تک مرحله‌ای می‌تواند آن‌ها را به نواحی آب و هوایی خاصی محدود کند. در این رابطه توضیح دهید.
۸. کدام انواع پدهای اشباع کننده برای مراحل مستقیم ثانویه پیشنهاد می‌شوند؟ آن‌ها چه بازده اشباعی (یا سرمایشی) ارائه می‌دهند؟ آن‌ها در کجای سیستم نصب می‌شوند؟ چرا؟
۹. در حالی که کولرهای غیرمستقیم منجر به کاهش دمای خشک هوا می‌گردند، آن‌ها چه اثری روی دمای مرطوب دارند؟ در هنگامی که مراحل مستقیمی این هوا را بیشتر خنک می‌کنند،

- کدام دمای مرطوبی می‌تواند شرایط را کنترل کند: دمای اولیه یا دمایی که از کولر غیرمستقیم خارج می‌شود؟
۱۰. در هنگامی که مراحل ثانویه برودتی نصب می‌شود، آسیب غیرمنتظره ناشی از چگالش در کجا ممکن است اتفاق بیفتد؟ در چه زمان و چرا؟ چگونه می‌توان از آن اجتناب کرد؟
۱۱. چرا EER سرمایش هوای غیرمستقیم-مستقیم باید حداقل ۵۰٪ کاهش پیدا کند تا آن‌ها را بتوان تقریباً با EER برودتی متناظر مقایسه کرد (به فصل ۱۷ مراجعه کنید)؟
۱۲. کولر غیرمستقیم صفحه‌ای تجاری که از پدهای با ماده واسط صلب برای توزیع آب استفاده می‌کند را توصیف کنید. کدام ویژگی‌ها به این کولرها کمک می‌کند که به بازده سرمایش ۸۴ تا ۸۷ درصد برسند؟ بر حسب cfm ، Btuh ، m^3/s و kJ/hr چه اندازه‌هایی موجود هستند؟
۱۳. چه روش‌های جدیدی برای فناوری کولر غیرمستقیم صفحه‌ای از استرالیا آمده‌اند؟ چرا چنین مواد نازکی برای انتقال گرما و از نظر استحکام قابل قبول هستند؟ چه چیزی می‌تواند تلاطم و صلبیت مبدل حرارتی را افزایش دهد؟
۱۴. چرا کولرهای پسکاد، هوای مرطوب و آب به صورت جریان مخالف حرکت می‌کنند؟ چه نسبت‌های جریان عمومی هوای اولیه به ثانویه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند؟ چه فاصله‌ای ما بین صفحات استفاده می‌شود؟ چرا این قدر کوچک؟ اتلاف فشار هوای استاتیک چقدر است؟
۱۵. چرا سیستم‌های غیرمستقیم-مستقیم نمی‌توانند از هوای برگشتی به شکل بازیابی استفاده کنند؟ چرا کولرهای پسکاد تقریباً همیشه تک مرحله‌ای هستند؟ آیا آن‌ها تغییر خواهند کرد؟ چرا؟ آیا قربانی کردن مزایای ناشی از بازیابی هوای برگشتی در برابر مزایای استفاده از مراحل ثانویه سرمایش مستقیم قابل جبران است؟
۱۶. کولرهای غیرمستقیم پسکاد را از نظر طراحی مبدل حرارتی با انواع کولر غیر مستقیم آمریکایی مقایسه کنید. آن‌ها را از نظر زمان تماس هوای اولیه و ثانویه در صفحه‌ها، هزینه‌های برق فن، هزینه‌های برق پمپاژ، بازدهی سرمایش، و از نظر اندازه‌های عرضه شده به بازار مقایسه کنید
۱۷. در پروژه مربوط به ۹ شهر، هوای شسته شده کولر فوق نسبت به کولرهای آبی چقدر خنک‌تر بود؟ EER سرمایش هوای میانگین به دست آمده چقدر بود؟ صرفه‌جویی متوسط سالانه مصرف برق در مقایسه با تهویه هوای برودتی با کیفیت، و تهویه هوای برودتی متوسط چقدر بود؟

۱۸. در کولرهای مستقیم-غیر مستقیم که توان خود را از خورشید می‌گیرند، چه عملکردی توسط باتری ذخیره‌سازی، اینورتر(مبدل الکتریکی)، و تجهیزات خودکار انجام می‌شود؟ حتی در EER پایین، آیا برق خورشیدی می‌تواند منجر به صرفه‌جویی شود. چگونه؟
۱۹. طرح کولر صفحه‌ای را از نظر تعمیر و نگهداری مربوط به رسوبات، در طولانی مدت و کوتاه مدت، بررسی کنید.

فصل ۲۲

سایر سرمایه‌های غیر مستقیم نوین

از آن جا که اولین کولرهای غیر مستقیم از برج‌های خنک‌کن و کویل‌های خشک سرمایه‌های هوایی پره‌دار به عنوان یک سیستم انتقال حرارت استفاده می‌کنند، ابتدا آن‌ها را بررسی کرده و سپس درباره انواع سیستم‌های مبدل حرارتی لوله‌ای و دوار بحث می‌کنیم.

سیستم‌های ساده برج و کویل

همان طور که در نسخه ۱۹۶۳ این کتاب اشاره شده، پیشگامان کولرهای غیرمستقیم ایالات متحده در دهه ۱۹۳۰ به دلایل واقعی و اجباری زیر از دور خارج شدند:

۱. برج‌های خنک‌کن می‌توانند گران، ناخوشایند و پر زحمت باشند.
۲. آب برج خنک‌کن، کویل‌های سرمایه‌های را به سرعت با رسوب معدنی مسدود می‌کند که به تدریج انتقال حرارت را کاهش می‌دهد.
۳. هزینه‌های پمپاژ معمولاً بیش از حد است.
۴. اجتناب از تشکیل رسوب در برج‌های نوع coil-shed مستلزم تبادل حرارت اضافی و پمپ اضافی است که بهره‌بازده را کاهش داده و هزینه‌ها را افزایش می‌دهد.

با وجود این، به ویژه در مناطقی که آب و هوای آن‌ها تمیزتر از مناطق جنوب غربی ایالات متحده است و در مناطقی که سیستم تصفیه آب بهتری دارند، چندین مورد از آن‌ها احیا شده‌اند. به جز چند

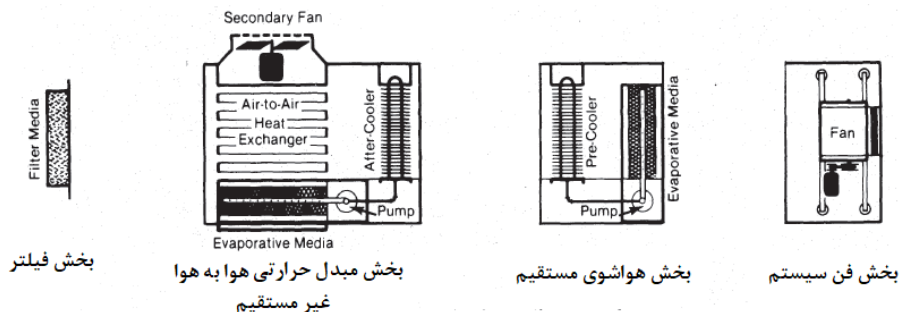
استثناء، تاسیسات امروزی بزرگتر و دارای طراحی بهتری هستند و از نظر تشکیل رسوب مورد پایش قرار می‌گیرند.

یک سازنده، که در کولرهای غیر مستقیم کوچک از مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای و در اندازه‌های متوسط از مبدل‌های حرارتی دوار استفاده می‌کند، از اصول برج و کویل برای بارهای بیش از ۹۰ تن (1139 MJ/hr) استفاده می‌کند. او از برج‌های خنک‌کن جریان مخالف عمودی و مخزن (حوضچه) جمع‌آوری آب در پایین، افشانه‌هایی در بالا، لایه‌های متعددی از ماده واسط صلب و فن‌هایی برای انتقال هوا از میان ماده واسط به سمت بالا و در جهت مخالف آب، استفاده می‌نماید (به شکل ۱۱ این فصل مراجعه کنید). سطح بسیار مرطوب محیط، آب را با تقرب ۹۰ درصد به دمای مرطوب، خنک می‌کند.

پس از آن، آب فیلتر شده و از طریق گذر از کویل‌های قطور هوا-خنک چند مسیره‌ای پمپاژ می‌شود که این کویل، هوای اولیه را به طور محسوس خنک می‌کند. سپس این هوا، جهت تبدیل نهایی به هوای تغذیه، وارد کولرهای تبخیری مستقیم شده و بر طبق گزارشات تا ۵ درجه فارنهایت ($2/8$ درجه سلسیوس) پایین‌تر از دمای مرطوب هوای خارج خنک می‌شود.

یکی دیگر از سازندگان، که محصولات خود را عمدتاً در منطقه جنوب غربی ایالات متحده می‌فروشد، دو سیستم مینیاتوری برج و کویل را در یک کولر غیرمستقیم قرار داده که در آن چهار مرحله فشرده در یک کابینت (بدنه) قرار دارد (به شکل‌های ۱ و ۲ این فصل مراجعه کنید).

مرحله اول یک مبدل حرارتی لوله فولادی چندگانه هوا به هوا است که در آن، هوای اولیه خشک فیلتر شده خارجی که در داخل لوله‌ها قرار دارد، به صورت جریان متقاطع توسط هوای ثانویه خشک و شسته شده ورودی از ماده واسط صلب یک کولر مستقیم، خنک شده و وارد مرحله دوم می‌شود. مرحله دوم یک کویل پره‌دار است که از طریق آن آب مخزن (حوضچه)، از همان کولر مستقیم پمپ می‌شود. بنابراین، این کولر مستقیم، هم هوای ثانویه شسته شده را برای مرحله اول و هم آب برج خنک‌کن را برای مرحله دوم تولید می‌کند.



شکل ۱- کولر فشرده غیر مستقیم - مستقیم چهار مرحله‌ای با نام تجاری Aztec به صورت واحد (مدول) های جداگانه از نمای بالا. در منتهی‌الیه سمت چپ یک فیلتر است، که از طریق آن هوای اولیه کشیده می‌شود. در سمت چپ یک مبدل حرارتی هوا به هوا است که هوای اولیه از طریق لوله‌های فلزی چهارگوش چندگانه آن عبور می‌کند در حالی که هوای ثانویه شسته شده حاصل از یک پد تبخیری واسط صلب (که در زیر لوله‌ها نشان داده شده است) به وسیله یک فن ثانویه پروانه‌ای (نشان داده شده در بالای آن‌ها) به درون کشیده می‌شود. این اجزا نخستین مرحله غیرمستقیم را تشکیل می‌دهند. سپس هوای اولیه از طریق یک کویل سرمایه‌ش پره دار متصل شده در سمت چپ- مرکز عبور کرده و توسط آبی خنک می‌شود که از مخزن زیر ماده واسط صلب در گردش است. این آب، در طی خنک‌کاری هوای ثانویه، به روش برج خنک‌کن، خنک می‌شود. این دومین مرحله غیر مستقیم است. در سمت راست - مرکز، هوای اولیه از مرحله سوم (دومین کویل آبی پره‌داری که هوا را برای مرحله چهارم پیش سرد می‌کند) عبور می‌کند که دومین پد اشباع با ماده واسط صلب محسوب می‌شود. کویل پیش سرمایه‌ش همانند قبل، با پمپ آب مخزن از میان پد، خنک می‌شود. البته، این پد خود یک مرحله تبخیری مستقیم است. در انتهای سمت راست دمنده‌ای وجود دارد که کل مراحل را تقویت کرده و هوای شسته شده نهایی را برای مقاصد سرمایه‌ش به کانال‌ها می‌دهد.

هوای اولیه خروجی از کویل مرحله دوم، وارد مرحله سوم می‌شود که یک کویل آب پره‌دار است. آبی که از طریق آن پمپ می‌شود در مرحله چهارم خنک می‌شود، این مرحله شامل یک کولر مستقیم است که هوای اولیه سه بار خنک شده‌ای که مرحله سوم را ترک کرده از آن عبور کرده و از طریق تماس آدیاباتیک با ماده واسط صلب خنک می‌شود.

در اصل، این سیستم از سه مرحله غیرمستقیم برای سرمایه‌ش محسوس هوای اولیه خنک و کاهش دمای مرطوب آن استفاده می‌کند. سپس این هوای با دمای مرطوب کاهش یافته، در یک کولر مستقیم نهایی به میزان بیشتری خنک شده و احتمالاً با دمای خشک به مراتب پایین‌تر از میزان دمای مرطوب اولیه خارج می‌شود. سپس این هوا، به عنوان هوای تغذیه برای سرمایه‌ش فضاهای ساختمان استفاده می‌شود.

این ایده ابتکاری است و بدون شک هوای بسیار خنکی را ایجاد می‌کند. با این حال، استفاده از اولین کولر مستقیم به عنوان یک برج خنک‌کن، یک فرض اساسی از سرمایه‌ش آدیاباتیک را نقض می‌کند

که طی آن آب و هوای شسته شده به دمای مشترکی می‌رسند. در اینجا، اگر کویل مرحله دوم سرمایش مفید را انجام دهد، آب آن باید در حالی که تا حدودی گرم شده به مرحله اول برگشته، و باید تا حدی ضریب تاثیر مبدل حرارتی هوا به هوای مرحله اول را کاهش دهد.

به همین ترتیب، سرمایش انجام شده در کویل مرحله سوم باید چند درجه آب در گردش خود را گرم کرده و در نتیجه، ضریب تاثیر کولر مستقیم آخرین مرحله را کاهش دهد. از طریق یک تحلیل آسان، احتمالاً چهار مرحله متصل به هم به یک تعادل کاری رسیده و هوای تغذیه را تا حدودی گرم‌تر و مرطوب‌تر از مقدار برنامه‌ریزی شده می‌کنند، اما همچنان قادر به سرمایش مفید هستند.

سازنده ادعا می‌کند که چهار مرحله بالا می‌تواند سرمایش کل در نیمی از مناطق داخلی کشور شامل واشینگتن، اورگون و کالیفرنیا، آیداهو، مونتانا، وایومینگ، یوتا، کلرادو و نیومکزیکو؛ و همه آریزونا به استثنای یک دایره در اطراف فونیکس را تامین کند.

وی گزارش می‌دهد که این چهار مرحله سرمایش کولر قادر هستند تا ساعت‌های زیادی از سرمایش کامل را در داکوتا، نبراسکا، کانزاس، میسوری، اوکلاهاما و اکثر تگزاس، آرکانزاس، ایلینوی، و آیووا و شاید نیمی از ایندیانا فراهم کنند. او توصیه می‌کند که در ایالت‌ها و مناطق اخیر، برای کمک در زمانی که این سیستم به تنهایی نمی‌تواند بارهای کامل خود را برآورده نماید، از کولرهای کوچک با سیستم‌های برودتی استفاده شود.

اعتقاد بر این است که تحلیل‌های محلی فوق، احتمالاً به طور کلی برای سایر کولرهای تبخیری غیر مستقیمی که به یک مرحله سرمایش مستقیم یا برودتی مجهز می‌شوند نیز صادق است.

این سیستم عمومی چهار مرحله‌ای، در شش اندازه تولید می‌شود که در سطح دریا به ترتیب ۱۶۰۰، ۲۰۰۰، ۲۸۰۰، ۴۰۰۰، ۶۰۰۰ و ۸۰۰۰ cfm (۰/۷۵، ۰/۹۴، ۱/۳، ۰/۹۸، ۲/۱ و ۳/۸ m³/s) هوای تغذیه را تحویل می‌دهند. به منظور استفاده انعطاف‌پذیر در شرایط تکمیلی، شش اندازه‌ای که تولید می‌شوند، به اجزای خود نگاه‌دار تقسیم می‌شوند. به عنوان مثال، سیستم یا بخشی از آن تقریباً می‌تواند به عنوان پیش‌خنک‌کن هوای جبرانی در تابستان و همچنین واحدهای بازایی گرما برای پیش-گرمایش هوا در زمستان استفاده شود.

دو فاز برج خنک‌کن تبخیری مستقیم، هر دو با استفاده از ماده واسط صلب با ضخامت ۱۲ اینچ، احتمالاً ضریب تاثیر سرمایش ۹۰ درصد و تا عمر مفید سه سال را تامین می‌کنند. در حالی که این پدها عمدتاً در برابر گرد و غبار اتمسفر، خود تمیز شونده هستند اما مشکلات تاریخی مربوط به تجمع رسوب در داخل کویل‌های آب تغذیه کننده برج خنک‌کن همچنان پا بر جا است. امید است

که کاربران حتماً آب دور ریز کافی را تخلیه کنند تا غلظت آهک در آن‌ها کاهش یابد. بر طبق گزارش، این سیستم تا ۸۰ درصد هزینه برق سیستم برودتی را صرفه‌جویی می‌کند.

سیستم‌های غیر مستقیم حلقه باز^۱

سیستم‌های حلقه بسته، دارای برج خنک‌کن از نوع coil-shed یا مبدل‌های حرارتی برای جدا نگه داشتن آب کویل و برج هستند. همچون تاسیسات قدیمی کویل و برج، سیستم‌های حلقه باز، آب برج را در کویل گردش می‌دهند.

بعضی از سیستم‌های بزرگ سرمایه‌های برودتی با آب سرد، در هوای سرد، به طور فزاینده‌ای، به جای چیلر از برج‌های خود استفاده می‌کنند. هنگامی که دمای مرطوب هوای بیرون به حدود ۴۰ F (C) ۴/۴) یا پایین‌تر کاهش می‌یابد، کمپرسورها متوقف شده و آب برج خنک‌کن، از طریق لوله‌های آب سرد، فیلتر اتاق، فن و واحد کویل پمپ می‌شود.

این سرمایه‌های غیر مستقیم، تنها به طور موقت، با چیلرهای مکانیکی رزرو اتفاق می‌افتد. بیشترین کاربرد این روش در ساختمان‌های با بارهای گرمایی داخلی زیاد، مانند افراد، چراغ‌ها، موتورها، تجهیزات الکتریکی، رایانه‌ها، فرآیندهای گرم و آزمایشگاه‌ها است. این ساختمان‌ها بدون توجه به فصل، نیاز به سرمایه‌های دارند.



شکل ۲- نه کولر غیر مستقیم چهار مرحله‌ای با نام تجاری Aztec با کوره‌های کانالی که یک کلیسای بزرگ را گرم و خنک می‌کنند. هر کدام از این مجموعه‌ها شامل چهار مرحله است که در تصویر قبلی نشان داده شده و شامل فن تغذیه هوا می‌شود.

1- J.e. Tracey, P.E., Open LQop Evaporative Cooling for Winter Chiller Plant Optimization. Paper to ASHRAE Meeting, Kansas City, July, 1984. Mr. Tracey is Manager, Building Engineering, Bell Communications Research, Inc., Piscataway, NJ

در تاسیسات ساده، شیرها صرفاً جریان آب برج را از کندانسورها منحرف کرده و از طریق منبع آب سرد و خطوط برگشت انتقال داده و به برج باز می‌گردانند. در طول مسیر، این آب از تعداد زیادی هواساز دارای کویل پره‌دار عبور می‌کند که به طور گسترده‌ای در اطراف محیط ساختمان (معمولاً در زیر پنجره‌ها) پخش شده و با لوله‌های عایق طویل به همدیگر متصل می‌شوند.

چنین سیستم‌هایی، در حالی که نیاز به تجهیزات جدید کمی دارند، فاقد کنترل هستند. چون دماهای آب می‌تواند بیشتر از جریان هواساز نوسان کند، کنترل‌ها می‌توانند بی‌اثر شده و شرایط اتاق می‌تواند به طور قابل توجهی تغییر کند. بنا بر این، معمولاً برای حفظ دمای آب بین ۴۰ تا ۴۵ F (۴/۴ تا C ۷/۲)، پمپ‌های چند سرعته نصب می‌شوند. در سیستم‌های بزرگتر، ممکن است دماهای آب نیز توسط استفاده مرحله‌ای از پمپ‌های چندگانه، برج‌های خنک‌کن یا فن‌های برج خنک‌کن کنترل شوند.

هنگامی که دمای خشک زیر ۳۲ F (۰ C) می‌رود، ولی هنوز ساختمان‌ها نیاز به سرمایش دارند، در صورتی که برج‌ها از طریق کاهش جریان هوای فن برج یا افزایش درجه حرارت آب برگشتی، از طریق کاهش دور پمپ یا استفاده از شیرآلات، در برابر یخ زدگی محافظت شوند، عملیات می‌تواند ادامه یابد.

علاوه بر شیرهای مخصوص، پمپ‌ها، کنترل‌ها و فن‌های موجود، اجزای اصلی شامل صافی‌های خاصی هستند که مانع از ورود مواد جامد به درون آب برج سیستم‌های آب سرد می‌شوند. صافی‌ها اغلب خود تمیز شونده هستند. سطوح بزرگ توری‌های ضد زنگ موجود در آن‌ها، معمولاً برای جلوگیری از ذرات با قطر بیش از ۱۲۶ میکرون مناسب هستند. آن‌ها در محفظه‌هایی قرار می‌گیرند تا جریان آب برگشتی، آشغال‌های جمع شده در محفظه را شستشو دهد. چنین جریان برگشتی به صورت خودکار زمانی آغاز می‌شود که فشار در فیلترها بیش از یک سطح تنظیمی، مثلاً ۵ psi (۳۴/۴۵ kPa) شود. این عمل فقط یک یا دو دقیقه طول کشیده و بنا بر این عملیات را کمی مختل می‌کند.

ممکن است در تاسیسات بزرگ، افت جریان آب برگشتی^۱ به ۳۰۰ گالن (۱۱۳۶ I) در روز برسد، اما نشان دهنده ضرورت دور ریزی آب است. از آن جا که آب برج، برای رسیدن به تعدادی از هواسازهای دارای کویل‌های لوله‌ای کوچک غیر قابل تمیز شدن، از لوله‌های غیرقابل دسترس بسیاری عبور می‌کند، تخلیه و دور ریزی مناسب آب و تصفیه شیمیایی آب برای جلوگیری از رسوب و خوردگی بازگشت‌ناپذیر ضروری است (به فصل ۷ مراجعه کنید). اکثر سیستم‌های از این نوع، در مناطقی هستند که، در مقایسه با سرمایش غیر مستقیم اولیه، آب نرم‌تر است. با این حال، رسوب طولانی مدت یک تهدید است، هر چند هوای سرد خارج، آب را به اندازه تبخیر سرد می‌کند.

صرفه‌جویی بالقوه در برق، بسته به آب و هوای، متفاوت است. داده‌های هواشناسی برای اکثر نقاط، محاسبه میانگین ساعات سالانه در مدتی که دمای مرطوب به اندازه کافی پایین است را ممکن ساخته، که این تا حدودی تحت تأثیر توانایی برج‌ها در تقرب به دمای مرطوب است. هرچه میزان تقرب نزدیک‌تر باشد، دمای مرطوب قابل قبول می‌تواند بالاتر باشد. متأسفانه به خاطر رویدادهای حاشیه‌ای و گذرای عدم استفاده، باید از اعداد آماری ۲۰ درصد کم شود. برای بارهای سرمایه‌های زمستانی ۵۰۰ تنی (۶۳۳۰ kJ/hr)، در صورت نصب تاسیسات دارای تجهیزات حلقه باز، در منطقه نیویورک، دوره‌های بازپرداخت دو ساله در نظر گرفته می‌شود.

سیستم‌های سرمایه‌های ذخیره شده برج خنک‌کن

نوسان دمای روزانه ۳۰ درجه فارنهایت (۱۶/۷ درجه سلسیوس) در ایالات کوهستانی غربی، ذخیره سرمای شب را برای استفاده روزانه ممکن می‌سازد. مهندسان دنور، برای یک ساختمان از دانشگاه کلرادو در کلرادو اسپرینگز، یک سیستم جدید طراحی کرده‌اند. دو برج خنک‌کن، که در شب و در زمان برق ارزان مربوط به مصرف غیر اوج کار می‌کنند، اضافه بر برآورد نیازهای سرمایشی روزانه، آب را در دو مخزن مدفون ۳۰،۰۰۰ گالنی (۱۱۳،۵۶۲ l)، در دمای همواره کم‌تر از ۵۸ F (۱۴/۴ C) ذخیره می‌کنند. این سیستم از اوایل سال ۱۹۸۰ به خوبی کار کرده‌است.

در یک دبیرستان، دو مخزن ۵۰،۰۰۰ گالنی (۱۸۹،۲۷۱ لیتری) به همراه کوپل‌های آب افشانه سقفی، به جای برج‌های خنک‌کن coil-shed نصب شدند. با یک سرمایه‌گذاری بیشتر از سیستم‌های برودتی معادل، انتظار بر این است که این سیستم تفاوت قیمت را در چهار سال جبران کرده و در سال‌های بعد از آن نیز موجب صرفه‌جویی شود.

کولرهای غیر مستقیم لوله‌ای

رایج‌ترین نوع امریکایی این کولرها، که به تازگی توسعه یافته، بر طبق اختراع ثبت شده در سال ۱۹۰۳ در آلمان، و اختراع ثبت شده توسط Fisher, Ballard و Booth در ایالات متحده ساخته شده‌است (به شکل ۳ این فصل مراجعه کنید).

در یکی از برندهای پیشرو، از لوله‌های توخالی چندگانه افقی نزدیک به هم، به عنوان سطح مبدل حرارتی استفاده می‌شود (به شکل ۴ این فصل مراجعه کنید). این لوله‌ها از جنس پلاستیک پلی‌استایرن بوده و مانند لوله‌های آتش در دیگ بخار، از طریق جوش حلالی، به صورت ردیفی به هدر پلی‌استایرنی متصل می‌شوند. لوله‌ها ۱ in (۲/۵ cm) قطر و ۵ ft (۱/۵۲ m) طول داشته و دارای روکش غلاف ماندنی از پارچه مصنوعی بافته شده، با قابلیت نگهداری آب زیاد و ویژگی‌های مرطوب، هستند. در

عمل، تشت‌های سوراخ‌دار توزیع آب در بالای ردیف لوله‌ها، همه آن‌ها را کاملاً مرطوب نگه می‌دارند(به شکل ۳ این فصل مراجعه کنید).

به نظر می‌رسد، غلاف‌ها تقریباً در مقابل تمام مشکلات، به جز نور خورشید، مقاومت می‌کنند. با سایه‌دار کردن تمام دهانه‌های باز رو به بیرون بدنه کولر(کابینت)، انتظار می‌رود عمر غلاف‌ها فوق‌العاده طولانی شود. توانایی منحصر به فرد غلاف‌ها برای نگه داشتن لایه‌های آب بر روی تمام سطوح لوله، به طور واضح انتقال حرارت را افزایش می‌دهد.

هوای اولیه در حال سرمایش، به طور محوری از طریق لوله‌ها حرکت کرده و گرمای محسوس را به آن‌ها و روکش متحرک آب خارجی آن‌ها می‌دهد. هوای ثانویه خارجی، به منظور تبخیر آب مزبور و خروج گرمای جذب شده، به صورت جریان متقاطع افقی از اطراف و بین لوله‌ها دریافت شده و سپس خارج می‌شود. آب اضافی، به درون تشت‌های آب فولادی گالوانیزه پوشیده شده از آسفالت فرو ریخته و از آنجا پمپ‌ها آن را از طریق دو فیلتر بافتنی، به کانال‌های توزیع آب فوقانی بر می‌گردند.

برای کنترل مواد معدنی که از آب تبخیر شده باقی می‌ماند، مقداری از آب‌های در گردش تخلیه می‌شوند، که مقدار آن به شرایط آب بستگی دارد. بر طبق گزارشات، مواد معدنی جمع شده بر روی پارچه را می‌توان به راحتی با گردش محلول‌های اسید ضعیف، به مدت چند ساعت، از طریق سمت مرطوب، حل کرد. برای جلوگیری از انباشت رسوبات، در صورتی که شرایط آب ایجاب کند، افزودنی‌های شیمیایی می‌تواند به طور خودکار با آب تشت جمع‌آوری، ترکیب شود. آن‌ها همچنین می‌توانند جلبک‌های احتمالی را نیز کنترل کنند (به شکل ۴ این فصل مراجعه کنید).

استفاده از پلاستیک به جای لوله‌ها و هدرهای فلزی، تقریباً تمام خوردگی را از بین می‌برد. این مزیت، هدایت حرارتی کمتر پلاستیک را در مقایسه با فلز، بی اهمیت می‌سازد. بدون در نظر گرفتن جنس مواد، مقاومت اصلی در برابر جریان گرما عبارت از لایه‌های هوای ساکن در سمت خشک است. مقاومت کمتر این لایه در سمت مرطوب، به واسطه جریان هوای مغشوش در اطراف و بین لوله‌ها و جریان آب رو به پایین به حداقل می‌رسد. هنگامی که مقاومت در برابر لایه‌ها جمع می‌شود، تفاوت بین ضریب هدایت پلاستیک و فلز جزئی می‌شود.

لوله‌ها به صورت "هسته‌های" مکعب مستطیلی مستقر می‌شوند که بر روی هر کدام، ۱۶۵ لوله با سطوح انتقال گرمای کل در حدود ۲۱۶ فوت مربع ($20/1 \text{ m}^2$) و سطح جریان هوای اولیه در حدود $0/9$ فوت مربع ($0/84 \text{ m}^2$) سوار می‌شوند. هسته‌ها از مدول‌های مناسبی تشکیل می‌دهند که در کابینت‌ها قرار می‌گیرند تا با بارهای سرمایش مطابقت نمایند. بر طبق گزارشات، برای هر هسته

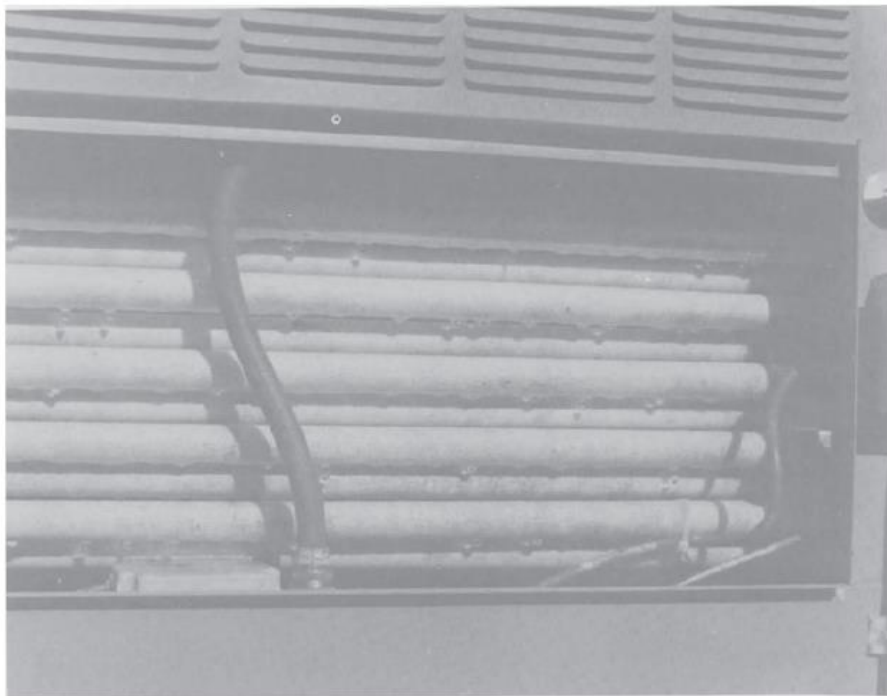
سرمایش، از ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ cfm (۲۸/۳ تا ۵۶/۶ m³/min) سرمایه‌های صورت می‌گیرد، که با اضافه کردن هسته‌ها در بالا، در هر کابینت تا جریان ۱۶،۰۰۰ cfm (۴۵۳ m³/min) می‌تواند خنک شود. خود کابینت‌ها دارای قاعده‌ای در حدود ۵ فوت در ۳ فوت (۱/۵ در ۰/۹۱ متر)، و ارتفاع مورد نیاز هستند. هنگامی که ظرفیت‌های بسیار زیاد مورد نیاز هستند، دو یا سه کابینت هشت هسته‌ای فوق می‌توانند بر روی یک قاعده مشترک نصب شوند.

کابینت‌های خالی، هیچ فن یا اجزای متحرکی به جز پمپ‌های آب از $\frac{1}{17}$ تا $\frac{1}{11}$ اسب بخار ندارند. با این حال، در دو سر کابینت‌ها، فلنج‌هایی برای اتصال به کانال‌های هوای اولیه ورودی و خروجی، و در کناره‌ها، برای اتصال به جریان ثانویه هوا وجود دارد. برای اطمینان از توزیع یکنواخت هوا در داخل و روی لوله‌ها، جریان هوای کشیده یا مکیده شده ترجیح داده می‌شود. از این رو اکثر فن‌های متصل از نوع مکشی هستند. ورودی هوای اولیه معمولاً پیش فیلتر شده و هوای ثانویه نیز، در مناطق پر گرد و خاک یا کثیف، فیلتر می‌شود.

سرعت جریان هوا از طریق لوله‌ها مهم است: هر چه سریع‌تر باشد، هزینه‌های انرژی و احتمالاً اندازه فن همچنین نرخ انتقال حرارت نیز، به دلیل نازک شدن لایه‌های هوا در سمت خشک، بیشتر است. اما سرعت اضافه شده، زمان عبور از درون لوله‌ها را کاهش می‌دهد، بنابراین ممکن است بازده سرمایه‌های خالص کاهش یابد.



شکل ۳- یک کولر غیر مستقیم با نام تجاری Vari-Cool دارای واحد مبدل حرارتی لوله پلاستیکی پنج "هسته‌ای" در ارتفاع هر هسته دارای ۱۶۵ لوله پلی استایرن به قطر ۱ in (۲/۴ cm) و طول ۵ft (۱/۵۲ m) است و می‌تواند به خوبی ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ cfm (۲۸ تا ۵۷ m³/min) هوا اولیه ورودی به انتهای لوله باز در سمت راست را خنک کند. برای مطابقت با بارهای سرمایشی، هر واحد، با حدود ۳ ft (۰/۹۱ m) عرض، می‌تواند از دو تا هشت هسته دسته شده مطابق شکل را در بر گیرد. فلنج‌های واقع بر روی سرهای دستگاه موجب سهولت در اتصال به کانال‌ها یا اجزای دیگر می‌شود. پمپ، واقع در پایین سمت راست، آب فیلتر شده را برای مرطوب نمودن لوله‌ها، از تشت جمع آوری (پایین) به تشت توزیع (بالا) انتقال می‌دهد، در حالی که یک و گاه دو فن پروانه‌ای هوای مرطوب، در سمت دورتر، هوای خارج را به صورت متقاطع به مجموعه لوله‌ها در سمت چپ می‌کشد. این هوای ثانویه از سمت نزدیک‌تر وارد می‌شود. پس از آن، فاصله بین لوله‌ها، باعث ایجاد تلاطم در تمام لوله‌ها شده و باعث تبخیر سریع می‌شود. برای بارهای بزرگ، دو دستگاه این چینی می‌توانند در کنار یکدیگر قرار گیرند، فاصله بین آن‌ها به یک محفظه (پلنوم) هوای مرطوب تبدیل می‌شود که توسط دو فن پروانه‌ای به سمت بالا دمیده می‌شود.



شکل ۴- نمای نزدیک لوله‌های Vari-Cool مرطوب از سمت ورودی هوا. برای اطمینان از مرطوب سازی ۱۰۰ درصدی، لوله‌ها از غلاف پارچه‌ای مصنوعی فتیله مانندی استفاده می‌کنند که لایه‌های آب رو به پایین را بر روی آن‌ها نگه می‌دارد. بنابراین، بسته به سرعت هوای اولیه، ضریب تأثیر سرمایه‌ش، به طور متوسط ۶۰ درصد است. لوله‌ها، صفحات لوله و بسیاری از قطعات دیگر بدون زنگ‌زدگی است. غلاف‌های بافته شده در زیر نور خورشید خراب شده و معمولاً توسط کرکره‌هایی در معرض سایه قرار می‌گیرند.

جریان هوای ثانویه نیز در سراسر لوله بحرانی است. حدود 800 cfm ($22/7 \text{ m}^3/\text{min}$) هوای ثانویه به ازای هر 1000 cfm ($28/3 \text{ m}^3/\text{min}$) هوای اولیه مورد نیاز است. جریان سریع‌تر می‌تواند حرکت آب در اطراف لوله را مختل کرده و موجب کاهش کارایی سرمایه‌ش سمت مرطوب شود. به طور معمول، هیچ ذرات آبی از لوله خارج نمی‌شود، بنابراین نیازی به قطره‌گیر نیست.

هنگامی که هوای برگشتی از اتاق‌ها از نظر کمی کافی بوده و تمیز و خشک است، دمای مرطوب آن به وضوح کمتر از دمای هوای خارج است، در نتیجه این هوا، به دلیل تأثیر بازیابی آن، به عنوان هوای ثانویه ترجیح داده می‌شود.

کانال کشی این هوای تخلیه شده از ساختمان، به ورودی هوای ثانویه، یک مزیت زمستانی نیز ایجاد می‌کند. در آن صورت این سیستم می‌تواند حرارت موجود در هوای در حال تخلیه را برای پیش

گرمایش هوای جبرانی تازه ساختمان استفاده کند. به هر حال، در هیچ حالتی، هوای ورودی به سیستم نباید بیش از $F 125$ ($C 51/7$) باشد. به همین ترتیب، هوا نباید سردتر از حد انجماد، از سمت مرطوب، وارد شود.

در چنین کارکرد زمستانی، با در نظر گرفتن جریان هوای یکسان از داخل و خارج کولر، هوای ورودی به اندازه حدود ۴۰ درصد تفاوت دمای ورودی و خروجی هوای ساختمان گرم خواهد شد. در ساختمان‌هایی که نیاز به تهویه زمستانی دارند، صرفه‌جویی در سوخت می‌تواند قابل ملاحظه باشد.

در کارکرد عادی تابستانی، بازده سرمایش کولرها، یعنی نسبت درجه هوای اولیه سرد شده در لوله‌ها به کاهش دمای مرطوب هوای ثانویه، حدود ۶۰ درصد است. این بازده می‌تواند با کاهش سرعت هوا در لوله‌ها، نظیر استفاده از هسته‌های بیشتر برای کنترل همان جریان هوای اولیه، افزایش یابد.

این کولرهای غیر مستقیم لوله‌ای، دارای لوازم جانبی اختیاری برای استفاده‌های خاص هستند. برای مثال، هنگامی که در خارج از منزل نصب می‌شوند، هوای اولیه از طریق فیلترها و هود توری‌دار باران وارد می‌شود.

هنگامی که چندین هسته در یک کابینت قرار دارند، ممکن است محفظه (پلنوم) خروجی هوای ثانویه دارای اغزوزفن‌های اضافی باشد. هنگامی که دو کابینت در کنار یکدیگر، بر روی یک پایه، قرار می‌گیرند، فضای بین آن‌ها به یک محفظه (پلنوم) خروجی مشترک هوای ثانویه تبدیل می‌شود که دو یا چند اغزوزفن این هوا را به بالا می‌دمند. در چنین مواردی، هوای اولیه‌ای که دو کولر را ترک می‌کند، معمولاً از طریق یک کانال به یک فن مرکزی مشترک هدایت می‌شود، که آن برای استفاده تحویل می‌دهد.

عملکرد چند مرحله‌ای

این کولرهای غیر مستقیم می‌توانند به تنهایی کار کرده یا تک مرحله‌ای باشند، اما هنگامی که آن‌ها بخواهند راحتی را تامین نمایند، به ندرت می‌توانند هوای به اندازه کافی خنکی را برای سرمایش آسایش‌بخش تحویل دهند. همچنین آن‌ها ممکن است مستلزم جریان، کانال و خروجی‌های بزرگتری در حالت مرحله‌ای باشند. بنابراین برای دستیابی به درجه حرارت پایین هوا، اکثراً این کولرها با یک یا چند مرحله اضافی کار می‌کنند.

در یک مقاله در مجله ASHRAE 1980، محققى به نام Neil Eskra این امکانات مرحله‌بندی را به شرح زیر برای کولرهای غیرمستقیم لوله‌ای بیان می‌کند:^۱

دو مرحله‌ای: یک کولر غیر مستقیم با یک مرحله دوم مستقیم بعدی

سه مرحله‌ای: سیستم فوق، اما با یک مرحله غیرمستقیم "تقویت‌کننده"^۲ که هوای ثانویه را برای مرحله اصلی اول پیش سرد می‌کند؛ یا این که هوای اولیه از مرحله قبلی وارد یک مرحله نهایی مستقیم می‌شود.

سه مرحله‌ای: یک کولر غیر مستقیم ساده که یک کولر مستقیم به دنبال آن است، به جز این که یک کویل برودتی قبل یا بعد از مرحله مستقیم قرار می‌گیرد.

چهار مرحله‌ای: سیستم سه مرحله‌ای فوق، اما با یک کولر غیر مستقیم تقویت کننده پیش سرد کن هوای ثانویه برای مرحله اصلی اول

با فرض بازده سرمایش ۶۰ درصد در مراحل غیر مستقیم و ۹۰ درصد برای مراحل مستقیم، و با توجه به شرایط طراحی با دقت یک درصد از نظر انطباق دمای خشک و دمای مرطوب متوسط برای شهر فونیکس با دمای خشک ۱۰۹ F (۴۲/۸C) و دمای مرطوب ۷۱ F (۲۱/۷ C) Neil Eskra بازده را برای دو مورد اول بالا برآورد نمود:

۱. سیستم غیرمستقیم - مستقیم ساده، ابتدا هوا را به طور محسوس و خشک تا دمای F ۸۷ (۳۰/۶ C) خنک می‌کند. سپس مرحله مستقیم آن را در F ۶۷ (۱۹/۴ C)، که کاملاً در زیر دمای مرطوب است، تحویل می‌دهد.

۲. سیستم غیر مستقیم - مستقیم با یک تقویت‌کننده پیش سردکن هوای ثانویه برای مرحله اول، که ابتدا هوای اولیه را به طور محسوس و خشک تا F ۸۲ (۲۷/۸ C) خنک می‌کند. سپس مرحله مستقیم برای تحویل آن را به میزان بیشتری تا F ۶۴/۵ (۱۸/۱ C)، که در زیر دمای مرطوب است، سرد می‌کند.

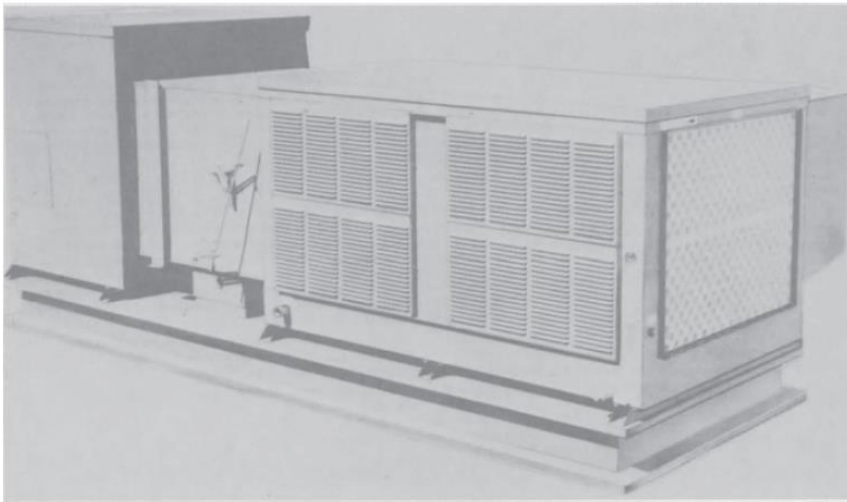
دمای خروج از مراحل اول و دوم نشان دهنده مزایای مرحله‌ای بودن است. در هر دو مورد فوق، هوای تغذیه شده تحویلی، همچون سرمایش برودتی، به رطوبت نسبی ۹۰ درصد نزدیک می‌شود. (به شکل‌های ۵ و ۶ این فصل مراجعه کنید).

کولرهای غیرمستقیم لوله‌ای قادر به صرفه جویی زیادی در مصرف برق هستند. برای مثال، در مقایسه نسبت EER در سرمایش هوای تغذیه شده، EER (یا مقدار Btu دفع شده به ازای هر وات برق

1- Neil Eskra, *Indire'(:t-Dim;t Evaporative Cooling Systems*, ASHRAE Journal, May 1980, pp. 21-25

2- Booster

مصرفی) سیستم‌های برودتی متعارف بین ۶ تا ۱۰ است، در حالی که دستگاه غیر مستقیم-مستقیم Eskra (حالت ۱ در بالا)، که در همان اقلیم کار می‌کند، می‌تواند به مقدار EER تئوری تبخیری ۱۰۵ (به فصل ۱۷ مراجعه کنید) و مقدار تئوری ۹۷ درصد صرفه‌جویی در برق برسد. البته، همانطور که در آن جا و تحت عنوان "اقتصاد سرمایه‌ش تبخیری" در فصل ۱۹ بحث شد، EER ماشین‌های مولد هوای تغذیه کم‌اهمیت‌تر از مقدار مربوط به سرمایه‌ش واقعی اتاق است. بر طبق محاسبات Eskra حداکثر صرفه‌جویی در برق تقریباً ۷۹ درصد است.



شکل ۵- یک واحد سرمایه‌ش دو مرحله‌ای غیر مستقیم-مستقیم Vari-Cool با کولر غیر مستقیم در سمت راست و مرکز و مرحله مستقیم در سمت چپ. در بین این دو بخش، یک مدول دمپر هوای برگشتی، به صورت اختیاری، موجود است که در طی فصل گرم، مرحله غیرمستقیم را کنار گذر می‌کند. دیگر مدول‌های اختیاری شامل کویل‌های بخار یا دیگر کویل‌های گرم، کویل‌های انبساط مستقیم یا سرمایه‌ش آب سرد یا فیلترهای هوا هستند. بخش دمنده تامین هوا که به انتهای دورتر متصل بوده و به همه جا توان می‌دهد در شکل نشان داده نشده‌است. در بسیاری از تاسیسات، دو واحد غیر مستقیم-مستقیم مشابه، بخش دمنده بزرگ را تغذیه می‌کنند. هنگامی که هوای اولیه از خارج کشیده می‌شود، انتهاهای لوله‌ها (سمت راست) توسط توری و هود باران محافظت می‌شود

عملکرد جغرافیایی

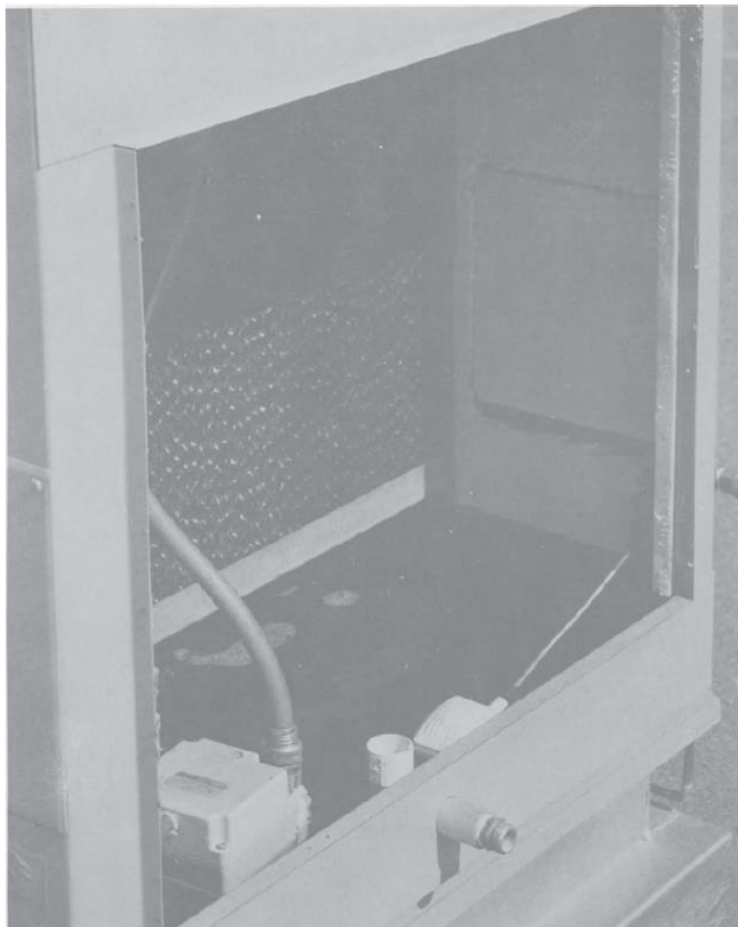
گسترده‌ترین داده‌های حاصل از شبیه‌سازی‌های کامپیوتری، ۱۶ شهر را از فونیکس و ال پاسو گرم تا سیاتل و سان فرانسیسکو سرد تحت پوشش قرار می‌دهد. در مورد کولرهای لوله‌ای، سه نوع مرحله دوم مورد استفاده قرار گرفته‌شد.

در اولی، هوای اولیه خارجی درون لوله‌ها، توسط هوای ثانویه خارج گذرنده از عرض سطح خارجی مرطوب خود، سرد شده و تخلیه می‌شود. سپس هوای اولیه از طریق یک کولر تبخیری مستقیم هدایت شده و یک فن آن را برای سرمایه‌های تحویل می‌دهد.

طرح دوم شبیه به مورد فوق است، به جز اینکه یک کولر غیرمستقیم کمکی ("تقویت کننده") با استفاده از تمام هوای بیرونی، هوای ثانویه را برای کولر اصلی غیر مستقیم پیش سرد می‌کند. بدین ترتیب هوای اولیه سردتری حاصل می‌شود.

سومی شبیه دومی است، به جز این که نیمی از هوای اولیه گذرنده از تقویت کننده، هوای اولیه کولر اصلی غیر مستقیم و نیمی هوای ثانویه آن را تشکیل می‌دهد، بنابراین هنوز هم هوای تغذیه خنک‌تری تهیه می‌شود.

جدول ۱ این فصل خلاصه عملکرد اقتصادی آن‌ها را نشان می‌دهد. فرض بر این است که واحدهای غیر مستقیم، بازده سرمایه‌های ۶۰ درصد و واحدهای مستقیم بازده سرمایه‌های ۹۰ درصد دارند. فرض می‌شود، با هوای تامین (تغذیه) شده $F = 60$ (C ۱۵/۶)، EER سرمایه‌های هوای برودتی ۸ (۸/۴ متریک) است. برای شرایط طراحی خارج، از کتاب راهنمای ASHRAE سال ۱۹۷۷ از دمای خشک ۱ درصد و دمای مرطوب میانگین منطبق، استفاده می‌شود. میزان صرفه جویی حاصل با سیستم برودتی قابل مقایسه است.



شکل ۶- یک نما از انتهای خروجی یک مدول مرحله دوم مستقیم Vari-Cool. به نصب پد اشباع واسط صلب، پمپ شناور، شیر شناور، لوله سرریز، و عایق فوم توجه کنید. یک مدول مرحله دوم دیگر، شامل سیستم مستقیم انبساطی برودتی یا سرمایش با آب سرد است. این این سیستم می‌تواند کاملاً جایگزین مدول تبخیری مستقیم شده یا به دنبال آن بوده یا از آن جلوتر قرار بگیرد. در حالت آخر، این مدول به سرمایش محسوس خود که با سرمایش غیرمستقیم آغاز شده ادامه می‌دهد. سپس مرحله مستقیم سرمایش را کامل می‌کند، در مقایسه با سرمایش برودتی، کل این سه مرحله فرآیند، صرفه جویی زیادی در مصرف برق می‌کنند. در یک طرح مرحله‌ای که در آن یک واحد غیرمستقیم نیمی از هوای اولیه را پیش گرم می‌کند و هوای ثانویه وارد یک واحد غیر مستقیم- مستقیم می‌شود، بر طبق گزارشات، در مقایسه با سیستم برودتی، ۷۵ درصد در مصرف برق صرفه جویی می‌شود.

جدول ۱- عملکرد سه چیدمان از کولرهای غیرمستقیم لوله‌ای با مرحله دوم به صورت کولر مستقیم

	کولر ۱ (به زیرنویس مراجعه کنید).																		کولر ۲ (به زیرنویس مراجعه کنید).						کولر ۳ (به زیرنویس مراجعه کنید).					
	0.73 Watts per CFM of Supply Air.																		0.95 Watts per CFM of Supply Air.						0.88 Watts per CFM of Supply Air.					
	ارتفاع	دمای طرح		هوای تغذیه		KWH				هوای تغذیه		KWH				هوای تغذیه		KWH												
						EER		% of Ref.				EER		% of Ref.				EER		% of Ref.										
Feet	F.	C.	F.	C.	Btu	Met	Ref.	F.	C.	Btu	Met	Ref.	F.	C.	Btu	Met	Ref.													
Los Angeles	312	93/70	33.9/21.1	67.1	19.5	26.4	27.9	30%	66.0	18.9	21.6	22.8	37%	62.0	16.7	28.1	29.6	28%												
San Francisco	8	82/64	27.8/17.8	61.3	16.3	34.9	36.8	23%	59.5	15.3	29.0	30.6	28%	58.0	14.4	33.0	34.8	24%												
Seattle	14	85/68	29.4/20.	68.6	20.3	24.2	25.5	33%	66.0	18.9	21.6	22.8	37%	64.3	17.9	25.3	26.7	32%												
Albuquerque	5310	96/61	35.6/16.1	55.1	12.8	44.0	46.4	18%	52.9	11.6	36.5	38.5	22%	48.4	9.1	44.7	47.2	18%												
Denver	5283	93/59	33.9/15.	52.7	11.5	47.6	50.2	17%	50.4	10.2	39.3	41.5	20%	45.9	7.7	47.8	50.4	17%												
Salt Lake City	4220	97/62	36.1/16.7	56.2	13.4	42.4	44.7	19%	53.9	12.2	35.4	37.3	23%	49.7	9.8	43.2	45.6	19%												
Phoenix	1117	109/71	42.8/21.7	66.2	19.	27.7	29.4	29%	64.2	17.9	23.6	24.9	34%	60.4	15.8	30.1	31.8	27%												
El Paso	3918	100/64	37.2/20.	59.3	17.5	37.8	33.4	21%	56.5	15.9	32.4	29.1	25%	53.4	14.8	38.6	34.1	21%												
Santa Rosa	167	99/68	33.9/17.8	63.5	15.3	31.7	39.5	25%	60.7	14.3	27.6	32.6	29%	58.6	12.6	32.3	39.2	25%												
Spokane	2357	93/64	35.6/18.3	59.6	15.8	37.4	38.2	21%	57.8	14.7	30.9	31.8	26%	54.6	12.8	37.2	38.7	22%												
Boise	2842	96/65	34.4/17.8	60.4	15.2	36.2	39.8	22%	58.5	14.2	30.1	32.8	27%	55.0	12.3	36.7	39.8	22%												
Billings	3567	94/64	37.8/17.8	59.4	15.2	37.7	39.9	21%	57.6	13.6	31.1	34.2	26%	54.2	11.9	37.7	40.7	21%												
Portland, Ore.	57	90/68	32.2/20.	64.8	18.2	29.7	31.3	27%	63.7	17.6	24.2	25.5	33%	61.3	16.3	29.0	30.6	28%												
Sacramento	17	101/70	38.3/21.1	65.8	18.8	28.3	29.9	28%	64.4	18.	23.4	24.7	34%	61.4	16.3	28.9	30.5	28%												
Fresno	326	102/70	38.9/21.1	65.7	18.7	28.4	30.	28%	64.2	17.9	23.6	24.9	34%	61.0	16.1	29.3	30.9	27%												
Austin	597	100/74	37.8/23.3	71.0	21.7	20.6	21.7	39%	69.8	21.	17.3	18.3	46%	67.4	19.7	21.5	22.7	37%												
میانگین	1882	95.6/ 66.4	35.3/19.9	62.3	16.8	33.4	35.2	25.1	60.4	15.8	28.0	29.5	30.4	57.2	14.0	34.0	35.9	24.8												

۱. کولر ساده مستقیم-غیرمستقیم. یک مرحله مستقیم، هوا را برای مرحله دوم مستقیم پیش سرد می‌کند

۲. کولر مستقیم-غیرمستقیم با یک تقویت کننده به صورت غیر مستقیم که مرحله دوم را پیش سرد می‌کند

۳. کولر مستقیم-غیرمستقیم با یک تقویت کننده به صورت غیر مستقیم که نصف هوای اولیه و نصف هوای ثانویه را پیش سرد می‌کند

مقادیر EER، با در نظر گرفتن تمام مراحل به عنوان یک مرحله، فقط سرمایش هوا در دستگاه را پوشش می‌دهد. از آنجا که آخرین مرحله به صورت سرمایش تبخیری مستقیم است، همان طور که اشاره شد، فرآیند سرمایش اتاق نیاز به این دارد که تمام هوای خروجی پس از سرمایش اتاق، به خارج از منزل دفع شود، چون حتی برای استفاده به عنوان هوای ثانویه نیز زیادی مرطوب است. این باعث افت قابل توجهی می‌شود که توسط مقادیر EER نشان داده نمی‌شود.

البته، درصد صرفه‌جویی ذکر شده، در مقایسه با سیستم برودتی، شامل هزینه‌های تلفات سرمایشی اتاق می‌شود. در مقایسه با سرمایش تبخیری مستقیمی که قبلاً ذکر شد، صرفه‌جویی کمتر است هر چند، سیستم‌های غیر مستقیم، شرایط اتاق خنک‌تر و با رطوبت کمتری را می‌دهند. علاوه بر این، آسایش کمتر به حرکت هوا وابسته است و می‌توان کانال‌ها و دریچه‌های خروجی کوچکتر، و حتی احتمالاً فن‌های کوچکتری را استفاده نمود.

در مقایسه با خنک‌کاری مکانیکی، خرید و نصب تجهیزات غیر مستقیم معمولاً ارزان‌تر است. ولی هزینه نگهداری آن به مراتب گران‌تر بوده و باید زمان توقف کمتری داشته باشد. قطعات متحرک این دستگاه، شامل پمپ‌ها و فن‌های ساده هستند که تعمیر آن‌ها بسیار راحت‌تر از کمپرسورها است. یک مزیت عمده در مناطق پر گرد و خاک: هوای سرمایش، ساختمان‌های سرد شده را تحت فشار قرار داده و باعث کاهش نفوذ هوا می‌شود.

همچنین این مراحل اولیه غیر مستقیم، دارای ترکیب‌های غیر قابل باوری می‌شوند: مراحل برودتی و تبخیری مستقیم به صورت توأم، به طور کلی، مراحل غیر مستقیم و مستقیم بارهای محسوس را کنترل کرده و مرحله برودتی نیز بارهای نهان را کنترل می‌کند. در عمل، تجهیزات برودتی از ظرفیت کمی برخوردار بوده و تنها در کسر کوچکی از سال در شرایط آب و هوایی طراحی کار می‌کنند.

در یک مطالعه کامپیوتری، یک مهندس مشاور مستقل، میانگین آب و هوای ۱۵ ساله را برای چهار شهر مورد تحلیل قرار داده و مصرف برق سالانه به ازای هر تن را، با استفاده از سه مولفه جداگانه این سیستم، مقایسه کرد تا بتوان کنترل دقیقی از شرایط هوای داخلی را به دست آورد.

نتایج برای یک سال نمونه به شرح زیر است:^۱

جدول ۲

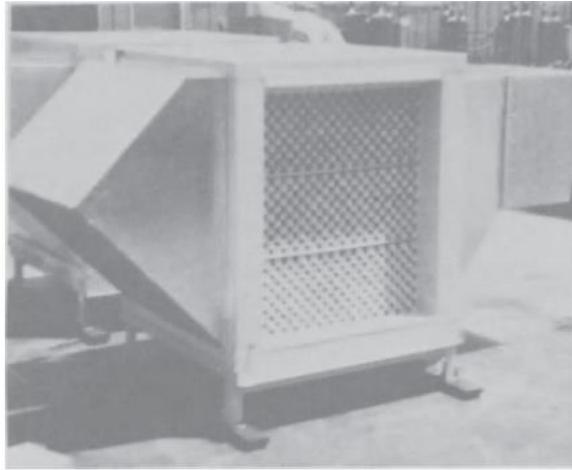
	Albuquerque	Tucson	Chicago	Savannah
Ton Hours	108,864	177,485	68,155	183,587
% Indirect Cooling	47%	41%	30%	13%
% Direct Cooling	22%	22%	12%	2%
% Evaporative Cooling	69%	63%	42%	15%
% Refrigerative Cooling	31%	37%	58%	85%
Evaporative kw/ton	.31	.22	.81	.89
Refrigerative kw/ton	1.46	1.46	1.46	1.46
Overall kw/ton	.66	.68	1.19	1.37

کم کردن مقادیر کل kw/ton فوق از kw/ton برودتی مربوط می‌تواند صرفه جویی احتمالی برق را نتیجه بدهد. هرچند برای سایر هزینه‌ها، این سیستم‌های سه مرحله‌ای می‌توانند حتی در شیکاگو، ولی نه در ساوانای مرطوب، مقرون به صرفه باشند. بنابراین آن‌ها می‌توانند در هر منطقه‌ای که در معرض بادهای ساحلی نیست به خوبی به کار گرفته شوند.

در چنین تاسیساتی، ممکن است مراحل مستقیم پیش از مرحله برودتی بوده یا به دنبال آن باشند. روش اول موجب صرفه جویی در انرژی شده و دومی سرمای بیشتری تحویل می‌دهد.

یک کولر غیر مستقیم لوله‌ای دیگر

یک سازنده قدیمی‌تر، کولرهای غیرمستقیم کاملاً مشابهی را می‌سازد. این کولرها از لوله‌های افقی مختلف با روکش تنزیب^۱ چند لایه به طول حدود ۳ ft (۰/۹۱ m) استفاده کرده و در بدنه‌های تقریباً مکعبی قرار دارند که بر طبق گزارش، هر کدام تا ۴۰۰۰ cfm (۱/۹ m³/s) هوای خشک سرد را تحویل می‌دهند. اکثر آن‌ها دارای فن نیستند اما قابل اتصال به انواع فن‌های مکشی گریز از مرکز برای هوای اولیه، و فن پروانه‌ای برای هوای ثانویه مرطوب هستند (به شکل ۷ مراجعه کنید).



شکل ۷- مبدل حرارتی کولر غیر مستقیم لوله افقی با نام تجاری DiPeri. این کولر دارای لوله‌های پلی استایرن افقی به قطر $\frac{3}{4}$ in (۱/۹cm) است که در هسته‌ها نصب شده و هر کدام در تنزیب‌های پنبه‌ای پیچیده می‌شوند تا اطمینان حاصل شود که ۱۰۰ درصد خیس می‌شوند، اما برای بازرسی یا جایگزینی سریعاً قابل جداسازی هستند. این دستگاه ۴۰۰۰ cfm ($1/9 \text{ m}^3/\text{s}$) هوا را خنک می‌کند. هوای اولیه وارد لوله‌ها، در مرکز شکل، می‌شود. هوای ثانویه، تحت هود محافظ خورشیدی در سمت چپ بوده و توسط یک فن پروانه‌ای مرطوب واقع در سمت راست، از اطراف و بین لوله‌ها مکیده می‌شود (به صورت جریان متقاطع با هوای اولیه). بدنه مکعبی، موجب اتصال راحت این دستگاه به سیستم‌های پیچیده می‌شود. احتمالاً اکثر تاسیسات، هوای برگشتی یا هوای جبرانی را برای سرمایه‌ش برودتی پیش سرد کرده و اغلب به همراه هوای ثانویه استفاده شده، کندانسورها را خنک می‌کند. در بسیاری موارد، از هوای برگشتی خشک به عنوان هوای ثانویه استفاده می‌شود که بعداً در کندانسورها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

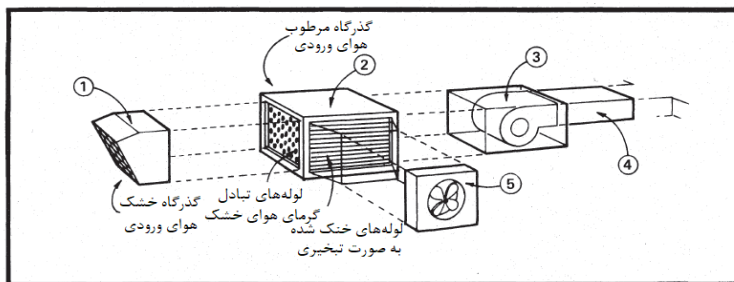
هوای اولیه از طریق لوله‌ها مکش می‌شود، در حالی که بیرون آن‌ها توسط آب مرطوب می‌شود، به طوری که حدود ۲۰۰۰ cfm ($0/94 \text{ m}^3/\text{s}$) هوای ثانویه به صورت جریان متقاطع از اطراف و بین آن‌ها مکیده شده و سپس تخلیه می‌شود. به جز آب دور ریزی که برای کنترل غلظت مواد معدنی تخلیه می‌شود، آب اضافی از پایین گرفته شده و مجدداً بر روی لوله‌ها جریان می‌یابد.

در هر دستگاه، بیش از ۲۰۰ لوله پلی‌استایرن موازی دارای قطر $\frac{3}{4}$ in (۱/۹cm) و ضخامت $0/050$ in (۱/۳ mm) وجود دارد. آن‌ها از طریق اصطکاک الاستیک، در دیواره هدر انتهایی نیمه انعطاف‌پذیر قرار داشته که در برابر نشت آب آب‌بندی شده و می‌توان به منظور بازرسی یا تعویض، آن‌ها را سریعاً با دست خارج ساخت. هدرها بر اساس یک الگوی مورب قطری، سوراخکاری شده تا از وجود فاصله نزدیک بین لوله‌ها و یک مسیر زیگزاگ برای هوای ثانویه برای حرکت در عرض و بین لوله‌ها اطمینان حاصل شود (به شکل ۸ این فصل مراجعه کنید).

بین هدرها، لوله‌ها با استفاده از نوار ماریپیج تنزیب پوشیده می‌شوند، به طوری که هر لایه اندکی بر روی لایه قبلی همپوشانی دارد. تنزیب ماندگاری طولانی دارد و امکان باز کردن سریع لوله موجب تضمین تعویض آن در مواقع لزوم می‌شود. از آنجا که بر طبق گزارشات، برخی از دستگاه‌ها بین ۱۲ تا ۱۵ سال عمر دارند، به نظر می‌رسد که قابلیت اطمینان آن‌ها به اثبات رسیده‌است. گفته می‌شود که تشکیل رسوب بر روی تنزیب، با توجه به پوسته شدن، بدون ضرر است.

آب از طریق لوله‌های سوراخ‌دار قابل چرخش فوقانی، که می‌تواند به صورت چشمی تنظیم شود تا توزیع یکنواختی به دست آید، به مجموعه لوله‌ها تغذیه می‌شود. با برخورد آب به لوله‌ها، تنزیب با نقاط چکه تداخل کرده و موجب توزیع بیشتر می‌شود. بنابراین، هیچ بخشی از تنزیب یا لوله خشک نمی‌ماند. تنزیب لایه‌های آب را بر روی لوله‌ها پخش کرده و به سمت پایین حرکت می‌دهد تا اثر سرمایه‌ش حداکثر شود

در عین حال، هوای ثانویه جریان متقاطع، مکیده شده، به طور مساوی به همه لوله‌ها برخورد کرده و به تبخیر کمک می‌کند. همچنین تنزیب تراوش آب و پخش آن در هوا را کنترل می‌کند، به طوری که میزان اتلاف آب کم بوده یا صفر است.



شکل ۸- نمای کلی از یک کولر غیر مستقیم DiPeri. شماره ۱ ورودی هوای اولیه خارجی حفاظت شده با توری، با فیلتر اختیاری است. ممکن است این قسمت در سیستم‌های گردش مجدد، که در آن هوای اولیه به طور عمده هوای برگشتی اتاق بوده و به همراه مقدار جزئی هوای جبرانی است، کوچک باشد. شماره ۲ مبدل حرارتی لوله‌های اولیه است. هوای اولیه از طریق لوله‌های پلاستیکی این بخش توسط وسیله شماره ۳ (دمنده تغذیه‌کننده) کشیده شده و در اثر تبخیر آب بر روی پوشش‌های جاذب لوله‌ها خنک می‌شود. شماره ۵ فن پروانه‌ای هوای مرطوب است که برای تسریع تبخیر، هوای ثانویه خارجی را در اطراف و بین لوله‌های مرطوب می‌مکد. سپس دوباره فن، هوای مرطوب استفاده شده را به خارج یا، در صورت امکان، به عنوان هوای ورودی یک کندانسور برودتی هوا-خنک تخلیه می‌کند. شماره ۴ کانال تحویل هوای تغذیه است. این آرایش در سیستم‌های گردش مجدد می‌تواند گرمای زمستان را از هوای تهویه بازایی کند. لوله‌ها خشک هستند و بخش هوای تخلیه شده به وسیله فن ۵ که آن را تخلیه می‌کند در اطراف و بین آن‌ها مکیده می‌شود. گرمای پسماند آن هوا، به داخل لوله‌ها منتقل شده که در آن هوای جبرانی که از چپ وارد شده پیش گرم می‌شود. هوای پیش گرم شده به فن ۳ وارد شده و به داخل محفظه (پلنوم) برگشت سیستم گرمایش دمیده می‌شود و سپس به هوای تغذیه برای گرمایش تبدیل می‌شود.

بدنه‌های تقریباً مکعبی، انعطاف‌پذیری زیادی در نصب ایجاد نموده و استفاده بهینه را تسهیل می‌کنند. کولرها می‌توانند به صورت عمودی روی هم قرار گرفته، کنار به کنار هم سوار شده یا به صورت سری یا موازی به هم متصل شوند به طوری که شش کولر، یک فن هوای تامینی را تغذیه کنند. اکثر آن‌ها مانند پیش‌سردکن‌های سرمایش برودتی، کولرهای هوای جبرانی، پیش‌سردکن‌های کندانسورهای هوایی، سیستم‌های سرمایش کامل، و واحدهای بازیابی گرمای تلف شده زمستانی، بر روی سقف نصب می‌شوند. بسیاری از آن‌ها برای مدارس و بیمارستان‌ها استفاده می‌شوند (به شکل ۹ این فصل مراجعه کنید).

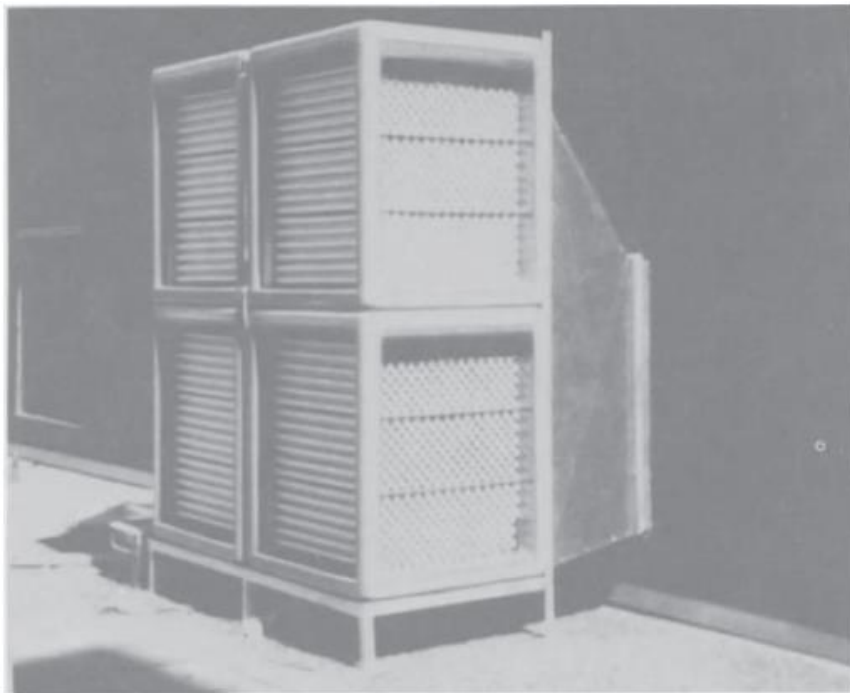
بر طبق گزارش، در سخت‌ترین شرایط محیطی، با دمای خشک $F 110$ ($C 43/3$) و دمای مرطوب $F 65$ ($C 18/3$)، هر کدام از دستگاه‌ها می‌تواند $6/26$ تن یا $75,120$ Btuh ($79/25$ kJ/hr) را دفع کند. در طی عملکرد میانگین، با مصرف حدود $2/4$ hp، 2 تا 3 تن یا $24,000$ تا $36,000$ Btuh (kJ/hr) $3-25/38$ گرما دفع می‌شود.

هوای اولیه در لوله‌ها تا حدود 40 درصد افت دمای مرطوب هوای ثانویه خنک می‌شود. هنگامی که این کولر با دستگاه‌های رقابتی مقایسه می‌شود، منجر به اعتقاد بر این می‌شود که لوله‌های طولانی‌تر مزیت گرمایی دارند. در اینجا برای به دست آوردن بازده سرمایش 60 درصد، دو واحد به صورت سری قرار گرفته یا یک واحد طوری اصلاح می‌شود تا هوای اولیه در آن دو بار گذر کند.

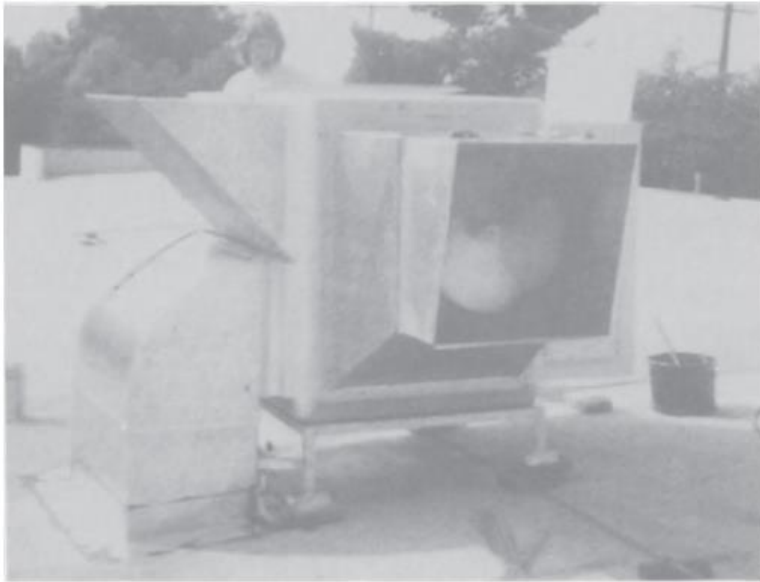
بر طبق گزارش، حداکثر EER این واحد در حدود 134 Btus دفع شده به ازای هر وات مصرفی است. این با EER حدود 6 تا 10 برای سیستم برودتی قابل مقایسه است. هنگامی که 50 درصد تنظیماتی که قبلاً ذکر شد اعمال شود، می‌توان دید که به ازای هر دلار توان مصرفی، این واحدها حدود $9/4$ برابر فضای بیشتر را خنک می‌کنند.

همانند دیگر کولرهای غیر مستقیم، این واحدها می‌توانند هم با کولرهای مستقیم و هم سیستم‌های برودتی، مرحله‌بندی شوند. علاوه بر این، آن‌ها به روش‌های مختلفی از تجربیات بازیابی استفاده می‌کنند: هوای برگشتی می‌تواند به عنوان هوای ثانویه مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از هوای ثانویه می‌تواند به سرمایش کندانسورهای تهویه مطبوع کمک کرده و یک واحد می‌تواند هوای ثانویه را برای واحد دیگر خنک کند (به شکل ۱۰ این فصل مراجعه کنید).

واحدهای کاملی (پکیج) نیز ساخته شده‌اند که شامل فن‌های هوای اولیه با فیلترهای گرد و غبار و فن‌های هوای ثانویه با توری و هود باران هستند. در اینجا برای ایجاد فشرده‌گی ساختاری، هوای اولیه از بین لوله‌ها دمیده شده و مکیده نمی‌شود.



شکل ۹- چهار واحد با نام تجاری DiPeri به صورت سری- موازی که در تمام طول سال در بیمارستان کار می‌کنند. در طول سال، بیمارستان هوای تهویه تلف شده را بین لوله‌های چهار دستگاه (مطابق شکل از راست به چپ)، به صورت موازی، در دمای نزدیک به 75 F ($23/9\text{ C}$) جریان می‌دهد. در همین حال 8000 cfm ($3/8\text{ m}^3/\text{s}$) هوای اولیه جبرانی تازه از انتهای لوله در سمت راست مکیده می‌شود. این هوا از روی دو مجموعه لوله به صورت سری عبور کرده و سرد می‌شود. این امر روزانه در تمام طول سال اتفاق می‌افتد. در تابستان هوای تخلیه، هوای جبرانی را برای سیستم تهویه مطبوع مرکزی پیش سرد می‌کند. در زمستان نیز از این هوا برای پیش گرمایش استفاده می‌شود. چنین صرفه‌جویی سالانه‌ای، دوره‌های کوتاه مدت بازگشت سرمایه را تضمین می‌کند.



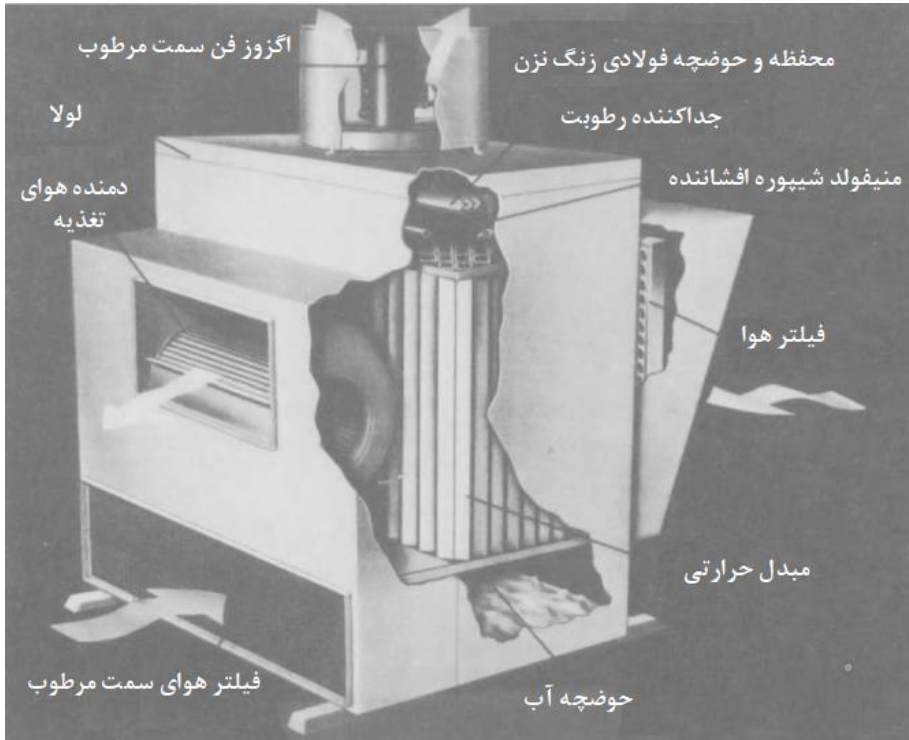
شکل ۱۰- یک کولر غیر مستقیم دو مسیره DiPeri که دارای دو مرحله در هر مسیر است. در اینجا هوای اولیه ورودی، از زیر هود توری دار آفتاب (بالا سمت چپ) وارد شده و در لوله‌های افقی به سمت راست جریان می‌یابد. این جریان، در لوله‌های معادل پایینی، دو بار به سمت چپ برمی‌گردد. سپس این هوا به زانویی تخلیه (پایین سمت چپ) وارد شده و وارد کانال‌های ساختمان (پایین) می‌شود. با تبخیر آب از روی روکش جاذب لوله‌ها، در جریان هوای ثانویه مکیده شده توسط فن توری دار هوای مرطوب (در شکل مشخص است)، این هوا سرد می‌شود. این واحد با ظرفیت 2000 cfm (m^3/min) ۵۷، هوای خنک شده تا ۶۰ درصد را تحویل می‌دهد. از آنجا که هوای سرمایش خشک است، استفاده از هوای برگشتی مورد استفاده برای بازیابی سمت مرطوب، باید دمای خروجی را باز هم کاهش دهد.

یک کولر غیر مستقیم لوله‌ای عمودی

کولرهای پکیجی یک سازنده دیگر، دارای لوله‌های چهارگوش عمودی پلاستیکی و حاوی دمنده‌های هوای اولیه مختص خود بوده و نسبت به کولرهای دیگر از فضای کمتری در پشت بام استفاده می‌کنند.

پایه چهار گوش، حوضچه‌های آب حاوی پمپ‌های گردش دهنده و شیرهای شناور و دور ریز را در بر می‌گیرد. در بالای آن‌ها، مجموعه‌های چهارگوش لوله‌های موازی چندتایی با فاصله از هم قرار دارند، به طوری که هوای اولیه می‌تواند از بین آن‌ها به صورت افقی حرکت کند. با حدود 1 in (2.5 cm) ضلع داخلی، این لوله‌ها طوری چیده می‌شوند که هوا از میان آن‌ها به صورت زیگزاگ حرکت کرده، سپس 90° در اطراف هر لوله چرخیده و همه سطوح را نسبت به لایه‌های هوای ساکن شستشو می‌دهد. بالا و پایین لوله باز است و در هدرهایی از صفحات لوله پلاستیکی آب‌بندی شده و هوای

اولیه خارجی را از هوای ثانویه مرطوب در حال حرکت به سمت بالا جدا می‌کنند (به شکل ۱۱ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۱۱- یک کولر کامل (پکیج) غیر مستقیم لوله‌ای عمودی با نام تجاری Energy Master™. هوای اولیه خارجی از طریق یک فیلتر و هود باران، از سمت راست، مکیده شده و از بین و اطراف لوله‌های چیده شده با گام مربعی نزدیک به هم عبور می‌کند که مسیر آن که لزوماً به صورت زیگزاگ است تا لایه‌های هوای ساکن را برای رسیدن به دمنده هوا در سمت چپ شستشو دهد. لوله‌ها با مقطع مربعی و پلاستیکی و بدون پوشش هستند، ضلع داخلی آن‌ها در حدود ۱ in (۲/۵ cm) بوده، بالا و پایین آن‌ها باز بوده و از بالا و پایین درون صفحه لوله‌های پلاستیکی آب‌بندی شده‌اند. حلقه‌های شیپوره، آب را در عرض و بالای لوله‌ها افشانده، لایه‌های جریان را به پایین فرستاده، در حالی که آگزوز فن سمت مرطوب (در بالا) هوای ثانویه فیلتر شده در پایین- سمت چپ و بالای درون لوله‌ها را به صورت جریان مخالف با آب و جریان متقاطع با هوای اولیه می‌مکد. بر طبق گزارشات، بسته به آب و هوا، هوای اولیه تا ۶۰ درصد افت دمای مرطوب را خنک می‌کند. این واحد ۵۰۰۰ cfm ($2/4 \text{ m}^3/\text{s}$) ر تحویل می‌دهد. یک واحد دیگر با دو مبدل حرارتی کنار هم، ۸۰۰۰ cfm ($3/6 \text{ m}^3/\text{s}$) را تامین می‌کند. مدل‌های جفتی (دو مبدل حرارتی به صورت سری) هوای کمتری تحویل می‌دهند اما ظاهراً تا حد ۹۲ درصد افت دمای مرطوب را می‌توانند خنک کنند.



شکل ۱۲- دو اندازه از کولرهای غیر مستقیم Energy Master™، از نمای سمت ورودی هوا. در سمت چپ مدل پایه ۴۰۰۰ cfm ($1/9 \text{ m}^3/\text{s}$) و در سمت راست، اندازه ۱۰۰۰۰ cfm ($4/7 \text{ m}^3/\text{s}$) قرار دارد. دومی دارای دو مبدل حرارتی است که به صورت موازی کار می‌کنند. برای نمایان کردن مجموعه لوله‌ها، فیلترهای ورودی هوا در هود باران برداشته شده‌اند. پشته‌های هوای مرطوب در بالا، هوای ثانویه استفاده شده را از گردش مجدد خارج می‌کنند. بدنه از فولاد زنگ نزن است.

در بالای مجموعه لوله‌ها، حلقه‌های شیپوره با پاشش مخروطی تو پر قرار دارند که به صورت مورب در عرض و به روی لوله‌ها در سمت پایین پاشش کرده و در حالت ایده‌آل لایه‌های تو پر آب رو به پایینی را در دیواره‌های داخلی خود ایجاد می‌کنند. در عین حال، فن‌های پروانه‌ای با محور عمودی (بالا)، هوای ثانویه را از طریق لوله‌ها، از فضای بالای حوضچه در پایین، مکیده و به فیلترهای گرد و غبار هوای خارجی یا کانال‌های برگشتی وارد می‌کنند. بدین ترتیب، آب و هوای ثانویه به صورت عمودی در جریان مخالف حرکت کرده به طوری که آب تبخیر نشده برای گردش مجدد به سمت حوضچه‌های زیرین فرو ریخته و هوای ثانویه استفاده شده به سمت بالا می‌رود.

هوای اولیه به صورت جریان متقاطع به سمت هوای ثانویه و آب حرکت می‌کند. این هوا از طریق فیلترهای گرد و غبار بزرگ محافظت شده به وسیله هود باران در خارج، وارد کولر شده، از اطراف و بین لوله‌ها عبور کرده و برای تحویل به کانال‌های تغذیه، وارد فن‌های گریز از مرکز با تخلیه افقی می‌شود. البته در داخل، هوای اولیه می‌تواند از طریق کانال‌های دیگر وارد کولر شود. (به شکل‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴ این فصل مراجعه کنید).

واحدهای اصلی در چهار ظرفیت خروجی اسمی هوای سرد، از ۴۰۰۰ تا ۱۰،۰۰۰ cfm (۱۱۳ تا ۲۸۳ m³/min) فروخته می‌شوند. موتور دمنده، تنظیمات خروجی‌ها را بر حسب مقاومت‌های استاتیک درون کانال‌های ساختمان تغییر می‌دهد. ویژگی‌های عمومی عبارتند از:

ظرفیت اسمی cfm	ظرفیت اسمی m ³ /s	دمنده هوای اولیه hp	دمنده اختیاری hp	پمپ آب hp	فن هوای ثانویه hp
4000	1.9	1		$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{2}$
5000	2.4	$1\frac{1}{2}$		$\frac{1}{6}$	$\frac{3}{4}$
8000	3.8	2	3	$(2)\frac{1}{6}$	$(2)\frac{1}{2}$
10000	4.7	3	5	$(2)\frac{1}{6}$	$(2)\frac{3}{4}$

کاربردها و عملکرد

کولرهای استاندارد می‌توانند به عنوان سیستم‌های سرمایش کامل و به عنوان پیش سردکن برای کولرهای برودتی و تبخیری مستقیم به کار گرفته شوند. به طور کلی، هوای اولیه تماماً تازه است، اما هوای ثانویه می‌تواند یا تماماً تازه بوده یا مخلوطی از هوای تازه و هوای خشک برگشتی باشد.

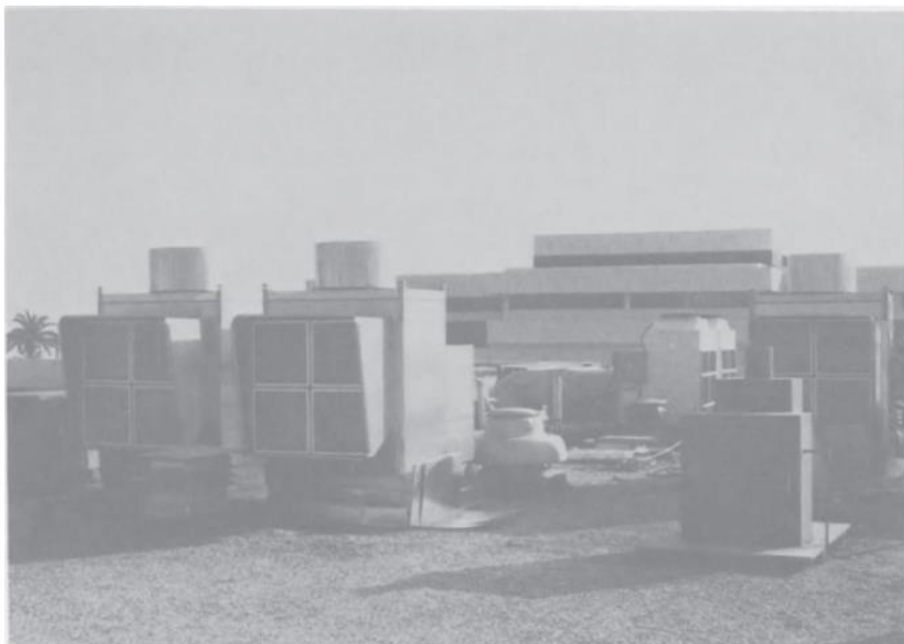
در صورت تمایل، دو کولر جفتی (سری)، با استفاده از یک فیلتر هوای اولیه و یک دمنده هوای تغذیه ولی با دو حوضچه، سیستم افشانه، مجموعه لوله و فن هوای مرطوب استفاده می‌شود (به شکل ۱۴ این فصل مراجعه کنید). این روش سطح سرمایش لوله برای هوای اولیه را دو برابر کرده و بازده سرمایش را افزایش می‌دهد. هنگامی که مجموعه لوله دوم، هوای برگشتی از ساختمان را به عنوان هوای ثانویه دریافت می‌کند، هوای اولیه می‌تواند تا دمای پایین‌تر از دمای مرطوب خارج خنک شود.

چنین کولرهایی، به صورت تکی و یا جفتی، به وضوح برای مکان‌هایی با نیازهای تهویه بالا مناسب هستند مثل: رستوران‌ها، بیمارستان‌ها، اتاق‌های جلسه، مدارس، سالن‌های ورزشی، آشپزخانه‌ها، آزمایشگاه‌ها و غیره. همچنین آن‌ها می‌توانند خروجی‌های سیستم‌های تهویه مطبوع موجود را افزایش داده و هزینه‌های برق آن‌ها را کاهش داده یا آن‌ها را در مناطقی با شرایط آب و هوایی مناسب جایگزین کنند.

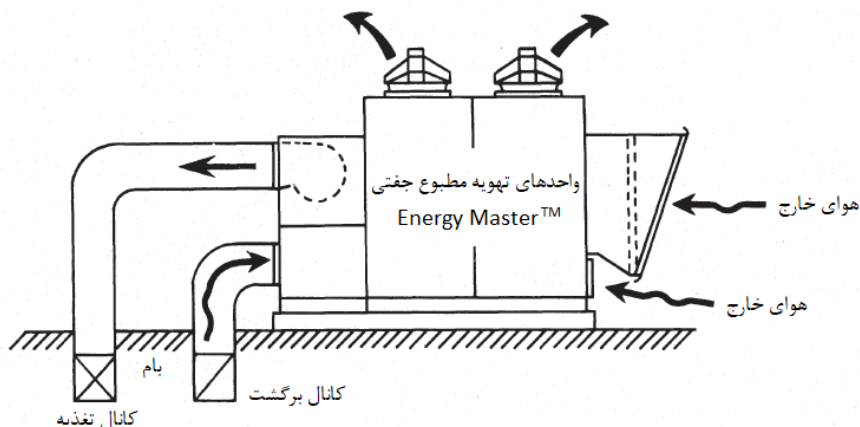
در هوای بسیار گرم و خشک، این کولرهای غیر مستقیم می‌توانند تنها برای تهویه مطبوع به کار گرفته شوند. در هوای با ۲۵٪ rh، دمای خشک ۹۵ F (۳۵ C)، دمای مرطوب ۶۸/۵ F (۲۰/۳ C) و بدون اثر بازیابی هوای برگشتی، بر طبق گزارشات، یک مدل این کولر ۵۰۰۰ cfm (۲/۴ m³/s) هوای ۷۹ F (۲۶/۱ C) را با توان ۲/۵ kW تحویل می‌دهد. در شرایط شدیدتر با ۱۰٪ rh، دمای خشک F

۱۰۵ (۴۰/۶ C) و دمای مرطوب F ۶۵ (۱۸/۳ C)، آن‌ها باید هوای F ۸۰ (۲۶/۷ C)، را با ضریب تاثیر سرمایش ۶۲/۵ درصد و هزینه‌های عملیاتی ۳۳ تا ۴۰ درصد سیستم برودتی تحویل نمایند.

هنگامی که چنین واحدهایی هوای برگشتی را با هوای ثانویه خود مخلوط می‌کنند، تحت شرایط rh ۲۵٪ فوق، هوای اولیه را در F ۷۵ (۲۳/۹ C) با هزینه‌های برق تخمینی بین ۳۰ و ۴۰ درصد سیستم برودتی تحویل می‌دهند. با داشتن دو واحد مشابه به صورت جفتی، هوای اولیه تا زیر F ۷۰ (۲۱/۱ C) سرد می‌شود.



شکل ۱۳- پنج کولر غیر مستقیم Energy Master™ در سقف ساختمان اداری، شامل دو مدل قدیمی در عقب. بر طبق گزارشات، سه کولر جدیدتر هزینه خود را در کمتر از دو سال باز پرداخت کرده‌اند. سه مدل جدیدتر در سال ۱۹۸۴ نصب شده‌اند.



شکل ۱۴- یک دستگاه تهویه مطبوع غیر مستقیم جفتی با نام تجاری Energy Master™. در اینجا دو واحد غیر مستقیم لوله‌ای عمودی، هوای اولیه را به صورت سری خنک می‌کنند. اولی که در سمت راست شکل است، از هوای ثانویه خارجی استفاده می‌کند. سمت چپی به جای هوای خشک، هوای برگشتی ساختمان با دمای مرطوب پایین‌تر را استفاده می‌کند. این کولر، بدون افزودن رطوبت، هوای اولیه را تا زیر دمای مرطوب خارج، که بسیار پایین‌تر از دمای هوای شسته شده کولر مستقیم است، سرد می‌کند. در بسیاری از اقلیم‌ها این کولر می‌تواند، با هزینه بسیار پایین، جایگزین هوای تحویلی با سیستم برودتی باشد.

عملکرد پیش سرمایش

چنین واحدهایی اغلب هوا را برای تهویه برودتی پیش‌سرد می‌کنند. بدون تأثیر بازیابی هوای برگشتی، با استفاده از هوای با رطوبت نسبی ۲۵٪، دمای خشک ۹۵ F (۳۵ C) و دمای مرطوب ۶۵/۵ F (C) ۲۰/۳، بر طبق گزارشات، هوای اولیه این دستگاه را در ۷۹ F (۲۶/۱ C) ترک می‌کند، برای تحویل ۵۰۰۰ cfm (۲/۴ m³/s)، ضریب تاثیر سرمایش ۰/۶۰ است. این پیش سرمایش، ۲/۵ kW را در مقایسه با ۷/۲ kW معادل آن برای برودتی مصرف می‌کند که نشانگر یک صرفه‌جویی ۶۵ درصدی و EER سرمایش هوای ۳۵ است.

به طور مشابه، اگر هوای برگشتی قابل توجهی وارد هوای ثانویه کولرها شود، بر طبق گزارشات، هوای اولیه پیش‌سرد شده در ۷۶ F (۲۴/۴ C) و با ضریب تاثیر سرمایش ۷۱/۷ درصد و EER سرمایش هوای ۴۰ وارد دستگاه تهویه مطبوع می‌شود. پیش سرمایش ۵۰۰۰ cfm (۲/۴ m³/s) با مصرف ۲/۵ kW به جای ۸/۵ kW، یک صرفه‌جویی ۷۰/۶ درصدی ایجاد می‌کند.

بر طبق گزارشات، در شرایط مشابه، پیش‌سردکن‌های جفتی، این هوا را در ۷۰ F (۲۱/۱ C) تحویل می‌دهند که نشان‌دهنده ضریب تاثیر سرمایش ۹۲ درصد و مصرف ۴/۵ kW به جای ۱۱/۲۵ kW

است. این امر موجب صرفه‌جویی ۶۰ درصد در برق می‌شود. هنگامی که از هوای برگشتی در هوای ثانویه کولر پایین دست (دوم) استفاده می‌شود، هوای اولیه تا کمتر از 70 F ($21/1\text{ C}$) خنک می‌شود. گزارش‌ها حاکی از آن است که عملکرد مرحله‌بندی شده با سرمایش مستقیم تبخیری نیز امیدوار-کننده است. در مورد اول در بالا، مراحل سرمایش - مستقیم با میزان تاثیر ۸۰ درصد، باید هوای شسته شده را در نزدیک به 67 F ($19/4\text{ C}$) تحویل دهند. در مورد دوم، با استفاده از تاثیر بازیابی، هوای شسته شده به 65 F ($18/3\text{ C}$) نزدیک می‌شود.

در مورد اول، با واحدهای جفتی، مراحل مستقیم باید هوای شسته شده 65 F ($18/3\text{ C}$) تولید کنند، اما واحدهای جفتی دارای بازیابی، که در ادامه دارای مراحل مستقیم هستند، باید به 61 F ($16/1\text{ C}$) برسند که کاملاً برای سرمایش آسایش‌بخش کافی است. در تمام موارد، هزینه‌های برق به مراتب پایین‌تر از سیستم برودتی معادل است.

به طور طبیعی، در طی آب و هوای مرطوب‌تر، تمام عملکردهای فوق کاهش می‌یابند، اما صرفه‌جویی مستقیم بالقوه، در مورد تمام کولرهای مورد بحث، برای اکثر اقلیم‌ها، زیاد است.

صرفه‌جویی از طریق مرحله‌ای شدن با سرمایش برودتی

احتمالاً میلیون‌ها تن از سیستم‌های برودتی نصب شده در مقیاس بزرگ، هر ساله به طور فزاینده‌ای از افزایش هزینه‌های برق رنج می‌برند، اما نمی‌توانند به طور کامل توسط سیستم‌های غیرمستقیم - مستقیم جایگزین شوند: سرمایه‌گذاری انجام شده به قدری بزرگ است که نمی‌تواند به حال خود رها شود، و عملیات نمی‌تواند به مدت طولانی قطع شود یا وجود رطوبت‌های محلی چنین جایگزینی را به قمار تبدیل می‌کند. بنابراین، برای افزودن پیش‌سردکن‌های غیرمستقیم، به منظور کمک به دستگاه‌های تهویه مطبوع برودتی موجود و آینده، یک بازار عظیم وجود دارد (به شکل ۱۵ این فصل مراجعه کنید).

یک سازنده کولرهای غیرمستقیم لوله عمودی، از مطالعه صرفه‌جویی احتمالی حمایت مالی کرد. در این مطالعه، شبیه‌سازی کامپیوتری یک سیستم سرمایش تمام‌گریز از مرکز ۵۰۰ تنی با یک سیستم گریز از مرکز ۴۵۰ تنی مشابه که دارای چهار واحد پیش‌سرمایش غیرمستقیم به منظور سرمایش محسوس $32,000\text{ cfm}$ ($15/1\text{ m}^3/\text{s}$) هوای جبرانی تازه است، انجام شد.

این دو سیستم برای شرایط آب و هوایی متوسط یک ساله در ۱۲ شهر، برای تعیین EER سرمایش هوای کلی منطقه‌ای و دوره‌های بازگشت سرمایه کولرهای غیرمستقیم خریداری شده برای جایگزینی ۵۰ تن از ظرفیت برودتی، مقایسه شدند. با استفاده از بهای برق محلی، میزان صرفه‌جویی محاسبه

شد. یک هزینه اولیه صرفه‌جویی ۱۵,۰۰۰ دلاری برای سیستم برودتی حذف شده و هزینه ۳۸,۰۰۰ دلاری برای چهار واحد غیرمستقیم ۸۰۰۰ cfm (۳/۸ m³/s) تخصیص داده شد.

نتایج شبیه‌سازی کامپیوتری به شرح زیر است:

شهر	EER تمام گریز از مرکز	EER ترکیبی	EER افزایش یافته	تعداد سال بازگشت سرمایه سیستم غیرمستقیم
Albuquerque	8.70	9.77	1.07	1.24*
Birmingham	8.69	9.25	0.56	2.15
Boston	8.57	9.01	0.44	3.64
Chicago	8.65	9.16	0.51	2.30
Dallas	8.73	9.46	0.73	2.19
Denver	8.65	9.93	1.28	1.27
Los Angeles	8.61	9.23	0.62	1.46
Newark	8.64	9.12	0.48	2.31
New York	8.63	9.09	0.46	1.49
Phoenix	8.71	9.83	1.12	1.22*
Pittsburgh	8.60	9.08	0.48	3.07
Washington	8.65	9.17	0.52	3.32
		متوسط	0.69	2.14

* این دو شهر می‌توانستند از تن تبرید گریز از مرکز کاسته شده بیشتری بهره‌گرفته و زمان بازگشت سرمایه کوتاه‌تری داشته باشند ولی تجهیزات آن مشابه نقاط دیگر فرض شده‌است.

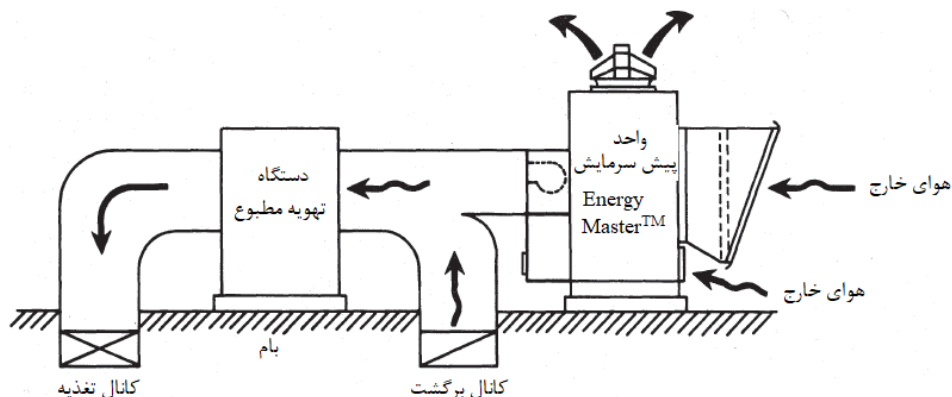
دوره‌های بازگشت سرمایه کوتاه مدت بالا در شهرهایی مانند بوستون، پیتسبورگ، شیکاگو، نیویورک و واشنگتن نشان می‌دهد که پیش‌سردکن‌های غیرمستقیم می‌توانند تقریباً در هر جایی، به صورت اقتصادی، سیستم برودتی را تقویت کنند.

هنگامی که این دستگاه‌ها هوای اولیه را برای مرحله دوم برودتی پیش‌سرد می‌کنند، حرارت محسوسی را که در غیر این صورت با آن مواجه می‌شوند را دفع می‌کنند. این کار بار کل کمپرسورها را کاهش داد یا ظرفیت کمپرسور را برای انتقال بارهای نهان آزاد می‌کند. در هر صورت، کمپرسورها به تعداد ساعت کمتری و با فشار کندانسور کمتری کار می‌کنند، بنابراین استهلاک سیستم برودتی و مصرف انرژی هر دو سیستم کم می‌شود.

تقویت اضافه‌تر زمانی رخ می‌دهد که هوای سرد سمت مرطوب‌کولرها، کندانسورهای سیستم برودتی را خنک کرده و هنگامی که هوای از ساختمان تخلیه می‌شود به عنوان هوای ثانویه وارد کولرها شود. بنا بر این، سیستم‌های غیرمستقیم برودتی باید در هر جایی که فارغ از بادهای اقیانوسی است، موفق باشند. در بسیاری از مناطق، سیستم برودتی در کمتر از ۱۵ درصد از کل زمان مورد نیاز هستند و مرحله تبخیری بار را تامین می‌کند. در چنین مواردی ممکن است مصرف برق سالانه تنها ۱۰ درصد سیستم‌های سرمایه‌های برودتی معمول باشد.

کولرهای چرخ ذخیره گرمایی

این سیستم ۴۰ سال پیش توسط Neal Pennington از شهر توسان توسعه یافت. در حالی که چرخ-های ذخیره گرمایی موتوردار این مخترع از توری‌های از پشم آلومینیوم پر شده بودند، اما امروزه آن‌ها از نوارهای فلزی موج‌دار حلقه شده به صورت مارپیچ‌های سفتی تشکیل شده‌اند که بر روی شفت‌های محرک قرار دارند.



شکل ۱۵- یک کولر غیر مستقیم Energy Master™ برای پیش‌سرمایش هوای جبرانی تهویه مطبوع. در سمت راست، هوای خارج به داخل این واحد مکیده می‌شود، مقداری از این هوا به هوای اولیه و مقداری به هوای ثانویه تبدیل می‌شود. اولی از بین لوله‌های سرمایش تبخیری عبور کرده و سرد می‌شود. سپس این هوا وارد واحد سرمایش مکانیکی در سمت چپ شده، به هوای برگشتی از اتاق‌ها از زیر متصل شده، و به هوای تحویلی تبدیل می‌شود. هوای ثانویه به سمت بالا تخلیه می‌شود. این کولر ۵۰۰۰ cfm ($2/4 \text{ m}^3/\text{s}$) خروجی خود را با توان حدود $2/5 \text{ kw}$ (بسته به شرایط آب و هوایی) خنک می‌کند. سرمایش برودتی این هوا $7/2 \text{ kw}$ هزینه دارد که تقریباً سه برابر بیشتر است.

عملیات مشابه است، به جز این که مدل‌های امروزه فقط مدول‌های تبادل گرما هستند نه ماشین‌های کامل و لازم است این مدول‌ها به فن‌های خارجی، فیلترها و کولرهای تبخیری مستقیم متصل شوند. با این حال، ممکن است چرخ‌ها تا ۱۴ فوت ($4/3 \text{ m}$) قطر و هشت تا ده اینچ ($20/25-3/4 \text{ cm}$) ضخامت داشته باشند.

به طور خاص، هر چرخ به آرامی از طریق مسیر دو جریان هوای موازی می‌چرخد. یکی از این دو هوا، هوای شسته شده خشک یک کولر مستقیم با بازده بالا است که مواد پر شده فلزی را خنک می‌کند که پس از آن به سمت مسیر هوای خشک تازه چرخیده و آن را از طریق تماس خنک می‌کند. سپس

این شبکه توری مانند به سمت جریان هوای شسته شده چرخیده تا بازسرمایش شود. هوای تازه به جز وجود ردی از هوای مرطوب، خشک باقی می‌ماند.

اگر دو جریان هوا در جهت مخالف باشند، مواد پر شده داخلی که توسط هوای شسته شده در سردترین حالت قرار می‌گیرند، در نهایت با هوای خشک تماس یافته و آن را برای ایجاد سرمایش تا حداکثر میزان خنک می‌کنند. همچنین این چیدمان چرخ را از گرفتگی تدریجی حفظ می‌کند. گرد و غبار احتمالی یا پرز جمع شده توسط هوای شسته شده، مجدداً توسط جریان معکوس هوای تازه خارج می‌شود. البته، هر دو جریان نیاز به فیلتراسیون خوب دارند. با این حال، اکثر آن‌ها توسط آب گرم یا فوران بخار کم فشار قابل تمیز کردن است. برای استفاده در کاربرد بازبایی گرما در زمستان، همچون هوای جبرانی گرمایش، این دستگاه می‌تواند هوای 175 F ($79/4\text{ C}$) را بدون خرابی دریافت کند. آن‌هایی که در برابر محصولات احتراق 1000 F (538 C) مقاوم هستند، برای پیش‌گرمایش هوای احتراق ارائه می‌شوند.

بیشتر چرخ‌ها با دور ۱۰ تا 25 rpm می‌چرخند. یاتاقان‌های ساچمه‌ای یا غلتکی و محرک‌های آن‌ها از توان کمی استفاده می‌کنند. با این حال، آب‌بندهای مختلف باعث اصطکاک می‌شوند. توان مصرفی چرخ‌های با قطر 3 ft ($0/91\text{ m}$) تنها $1/8\text{ hp}$ و چرخ‌های با قطر 14 ft ($4/3\text{ m}$) تنها $3/4\text{ hp}$ است، زمانی که سرعت متغیر مورد نظر باشد، هر دو چرخ به توان بیشتری نیاز دارند.

چرخ‌های تبادل حرارت

چرخ‌ها بسیار بهبود یافته‌اند. در حال حاضر، اکثر آن‌ها از نوارهای آلومینیومی مارپیچ موجدار آلومینیومی با پهنای لازم ساخته می‌شوند. به تناسب، موج نوارها، از طریق گذرگاه‌های هوایی که نشستی جانبی اندکی دارند، جریان متقاطع درون چرخ را کنار گذر کرده و ذرات گرد و غبار هوا برد را مهار می‌کند

در طی سرعت‌های هوای متوسط، در گذرگاه‌ها جریان آرام رخ داده و مقاومت استاتیک پایین می‌ماند. با این حال، حفظ سرعت‌های ورودی پایین، مستلزم چرخ‌های بزرگ زمخت یا چند چرخ است که به صورت موازی استفاده می‌شوند. از این رو، سرعت‌های ورودی معمولاً از 400 تا 700 fpm ($2/0$) تا $3/6\text{ m/s}$ بوده و تلفات فشار استاتیک آن معمولاً بین $0/4$ تا $0/8$ اینچ آب (100 تا 199 Pa) است.

چرخ‌ها به طور معمول در پوسته‌های فولادی نازک و مسطحی قرار دارند که در جلو و عقب خود دارای دهانه‌های دایره‌ای به اندازه خود چرخ هستند. موتورهای کم‌دوری که در گوشه‌های قابل

دسترس پایین تر وجود دارند، چرخ‌ها را با تسمه‌های V شکل یا زنجیر غلتکی به حرکت در می‌آورند. یاتاقان‌های چرخ، دارای آب‌بندی و روانکاری دائمی هستند.

امروزه چرخ‌ها خیلی نازک‌تر از قبل هستند. در حالی که برای ایجاد ضریب تاثیر تبادل حرارت بالا، به چرخ‌های با ضخامت ۸ تا ۱۲ in (۲۰ تا ۳۰ cm) نیاز است، ولی امروزه چرخ‌های با ضخامت ۶ تا ۸ in (۱۵/۲ تا ۲۰/۳ cm) معمول‌تر هستند. این امر تا حدودی یک عامل اقتصادی است. افزایش ضخامت باعث افزایش بازده و همچنین بهبود مقاومت جریان هوا و مصرف انرژی فن می‌شود.

به طور معمول، مبدل‌های حرارتی هوا به هوا ضعیف هستند زیرا از طریق لایه‌های هوا به دو مبدل حرارتی نیاز است، در حالی که در حالت مرطوب لوله‌ای مرطوب یا کولر مستقیم نوع صفحه‌ای به یک مبدل نیاز است. در مبدل‌های حرارتی دوآر نیز دو تبادل حرارتی رخ می‌دهد. البته، تلاطم در گذرگاه‌های کوچک هوا، اثرات لایه هوا و معایب انتقال گرما را کاهش می‌دهد. تاوان این کار افزایش مصرف انرژی فن است (به شکل ۱۶ این فصل مراجعه کنید).

بسته به نوع چرخ، بر حسب اختلاف دماهای بین جریان‌های هوا، وزن‌های نسبی جریان در هر چرخ، و سرعت جریان دو هوا، ضریب تاثیر تبادل حرارت از ۶۰ درصد تا بیش از ۹۰ درصد تغییر می‌کند. میانگین ضریب تاثیر، در طی کارکرد سرمایشی، می‌تواند ۷۶ درصد باشد.

مبدل‌های حرارتی گردونه مانند دوآر، به طور واضح در فضا و نشت احتمالی صرفه‌جویی می‌کنند (به پایین نگاه کنید)، اما ساخت آن‌ها از نظر ایجاد گذرگاه‌های مستقیم، کوچک و کارآمد هوا بسیار دشوارتر است.

مشکلات نشتی

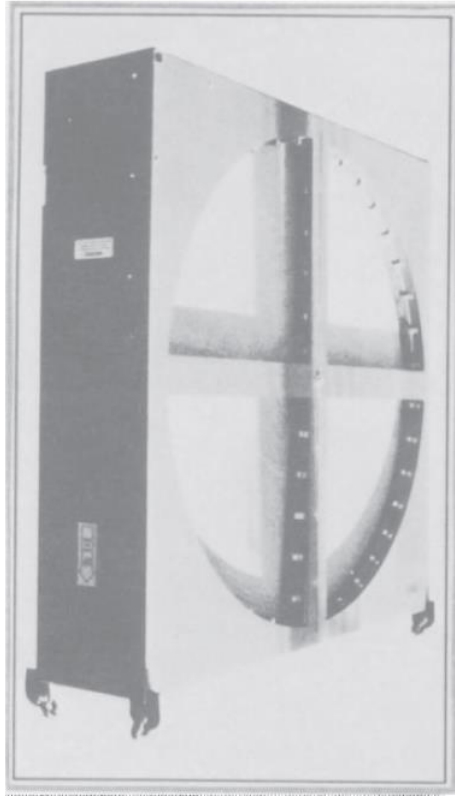
نشتی که قطعات ثابت در تماس با لبه‌ها و سطح چرخ با آن مواجه می‌شوند فراتر از پیشگیری است و احتمالاً مانع از این می‌شود که این ماشین‌ها محتویات با ارزش‌تر از هوا و گازهای اتلافی را حفظ کنند. در هنگام سرمایش، نیمی از چرخ، هوای ثانویه شسته شده مرطوب و نیمه دیگر، هوای اولیه خشک را حمل می‌کند. فضاهای محفظه (پلنوم) تغذیه‌کننده کانال که در مجاور هر دو وجه چرخ قرار دارد، دارای نشتی از اطراف رینگ چرخ‌های متحرک و بین جریان هوای مرطوب و خشک است که استفاده از نمد یا دیگر آب‌بندهایی که در تماس کامل یا تماس جزئی با سطح چرخ است، این نشتی را به حداقل می‌رساند. بدین ترتیب هر چه سطوح چرخ صاف‌تر باشد، آب‌بندی بهتر است و فرسودگی کمتری در آب‌بند ایجاد می‌شود. استفاده از فن‌های مکنده، و نه فشاری، نیز باعث کاهش نشتی می‌شود.

نشت هوای شسته شده به درون هوای اولیه کاملاً نامطلوب است. در سطح چرخ، که در آن هوای شسته شده وارد چرخ می‌شود، فشار استاتیک می‌تواند $0/8$ اینچ آب (199 Pa) باشد. از آنجا که به طور معمول هوای اولیه در خلاف جهت هوای شسته جریان دارد، برای یک اختلاف $0/6$ اینچی (Pa) 149 بین دو طرف آب‌بندهای معمولی شعاعی دوتایی، هوای اولیه در آن وجه می‌تواند تنها $0/2$ اینچ آب (50 Pa) فشار داشته‌باشد. اگر بین آب‌بندها تهویه نشود، آلودگی اجتناب ناپذیر است. در عین حال هر دو جریان هوا، دارای اتلاف هوا می‌شوند.

نشت "انتقال"^۱ نیز زمانی اتفاق می‌افتد که بسیاری از گذرگاه‌های هوایی کوچک، از منطقه هوای ثانویه به منطقه هوای اولیه و بالعکس عبور می‌کنند. آنها چندین اینچ طول داشته و حاوی هوای منطقه‌ای هستند که از آن جدا شده‌اند، که مقدار آن برابر مقدار حجم خالص چرخ در هر دور است. برای جلوگیری از این آلودگی، اکثر مبدل‌های حرارتی دوآر دارای "بخش‌های زدایش"^۲ در مجاور آب بندهای شعاعی در هر دو طرف هستند. در اینجا، مقداری از هوای اولیه کنار گذر شده، هوای مرطوب باقی مانده را خارج کرده و آن را به هوای شسته شده جدا شده می‌فرستند، که باعث اتلاف خالص هر دو جریان می‌شود.

سرمایش غیر مستقیم از نوع چرخ

یک سازنده کلرادویی، دو نوع کولر غیر مستقیم با مبدل‌های حرارتی دوآر را تولید می‌کند. در سیستم‌های ساده او، وی از ماده واسط صلب با بازده اشباع 90 درصد برای تولید هوای شسته استفاده می‌کند که سپس توسط فن‌های گریز از مرکز به چرخ‌ها وارد شده و در نهایت از آن به خارج تخلیه می‌شود.



شکل ۱۶- چرخ انتقال حرارت دوار با نام تجاری Norsaire. این همتای جدید دستگاه پیشگام Neal Pennington، از لایه های بافته متناوبی از نوارهای پیچ خورده آلومینیومی تشکیل شده است. این چرخ، با انتقال حرارت خوب و مقاومت استاتیک کم، چندین گذرگاه کوچک را برای هوا ایجاد می کند. در عمل، دو جریان جداگانه هوا، از طریق نیم دایره های متقابل سطح چرخ که در جهت مخالف حرکت می کنند مکیده می شوند. یکی از جریانات، هوای شسته شده سردی است که از یک کولر مستقیم با ماده واسط صلب بسیار کارآمد آمده و نیمی از چرخ را سرد کرده و به فضای بیرون بر می گردد. جریان هوای دیگر، هوای خارج گرم و تازه ای است که هنگامی که چرخ گذرگاه های تازه سرد شده را به سمت این هوا می چرخاند، موجب سرد شدن آن می شود. همچنین به فصل های ۲۰ و ۲۳ مراجعه کنید.

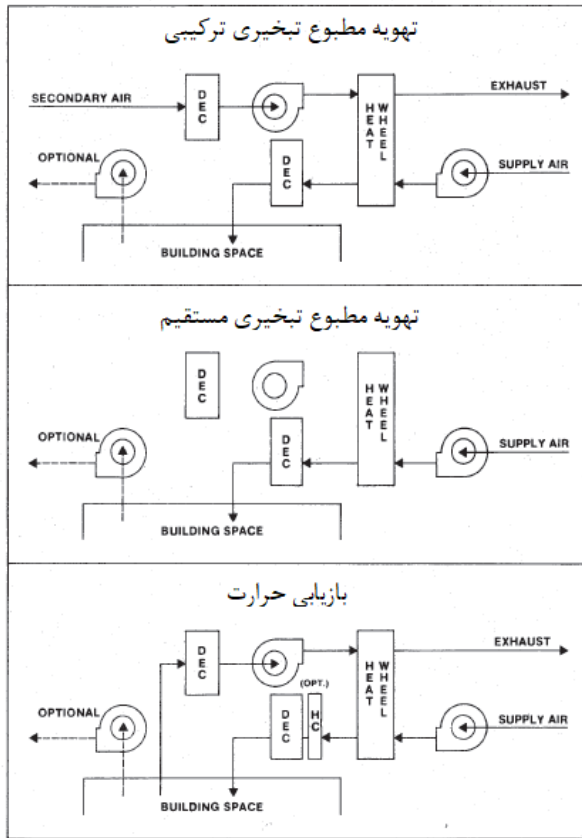
بدین ترتیب، بر طبق گزارشات هوای خارج با دمای خشک 90 F ($32/2\text{ C}$) و دمای مرطوب 60 F ($15/6\text{ C}$) به عنوان هوای ثانویه شسته شده با دمای خشک 63 F ($17/2\text{ C}$) و همان دمای مرطوب وارد چرخ می شود و آن را در حدود دمای خشک 83 F ($28/3\text{ C}$) و دمای مرطوب 65 F ($18/3\text{ C}$) ترک می کند. چرخ ها با ضریب تاثیر ۷۴ درصد، هوای اولیه بیرونی 60 F و 90 F ($15/6\text{ C}$ و $32/2\text{ C}$) را به هوای تغذیه با دمای خشک 70 F ($21/1\text{ C}$) و دمای مرطوب 53 F ($11/7\text{ C}$) تبدیل کرده و فن های گریز از مرکز آن را برای اهداف سرمایشی تحویل می دهند.

به طور طبیعی این سیستم‌ها دارای مراحل پیش‌سرمایش عالی برای تهویه مطبوع برودتی بوده و بیشتر سرمایش محسوس را از طریق آن آزاد کرده، خروجی را افزایش داده و در مصرف برق صرفه‌جویی می‌کنند.

در این ترکیب^۱ ارائه شده توسط سازنده، یا همان سیستم غیر مستقیم - مستقیم، کولرهای با بازده ۹۰ درصد، هوای خشک سرد شده را از مراحل غیرمستقیم دریافت می‌کنند. سپس، بر طبق گزارشات، هوا را به میزان بیشتری تا دمای خشک ۵۵ F (۱۲/۸ C) و دمای مرطوب ۵۳ F (۱۱/۷ C) خنک می‌کنند که باعث می‌شود تا یک هوای تغذیه عالی برای سرمایش ساختمان به دست آید، که بسیار با هوای تغذیه سیستم برودتی قابل مقایسه بوده و چگالی آن به اندازه‌ای است که می‌توان از همان کانال‌ها و دریچه‌های خروجی استفاده کرد. برخی از کاربران ممکن است، به ویژه در طی اوج بارهای تابستانی، از قابلیت کولرهای غیر مستقیم - مستقیم استفاده کرده و در شرایط آب و هوایی ملایم و شبانه، کولرهای مستقیم هوای اولیه را خاموش کرده و صرفاً از واحدهای غیرمستقیم استفاده کنند.

همچنین، هنگامی که آب و هوا مناسب است، مرحله غیرمستقیم کولرهای مستقیم و چرخ‌های تبادل حرارت، می‌توانند متوقف شده و کولرهای مستقیم هوای اولیه می‌توانند کل بار را به عهده گرفته و موجب صرفه‌جویی در انرژی شوند. البته، اندازه کانال‌ها و فن‌ها باید برای چنین کارکردی مناسب بوده و دریچه‌های خروجی فراخ و یا فن‌های بزرگی برای تخلیه جریان بزرگتری از هوای شسته شده تهیه شوند.

دو سیستم فوق، به طور عمده ساختمان‌های با بارهای سرمایشی ۲۵ تا ۵۰ تن (۶۳۳-۰ kJ/hr) (۳۱۶/۵) را سرویس می‌دهند. در طراحی اولیه، هر دو سیستم تماماً از هوای خارج در فازهای اولیه و ثانویه استفاده می‌کنند. این امر موجب کاهش هزینه‌ها شده و باعث افزایش ظرفیت تهویه می‌شود.



شکل ۱۷- شیوه‌ای که سرمایش غیر مستقیم Norsaire در تمام طول سال موجب صرفه‌جویی در انرژی می‌شود. نمودار بالا یک سیستم سرمایش تابستانی غیر مستقیم- مستقیم Norsaire را نشان می‌دهد. هوای ثانویه در یک کولر تبخیری مستقیم (DEC) خنک شده و نیمی از چرخ مبدل حرارتی را خنک کرده و خارج می‌شود. همزمان، هوای تحویلی (اولیه) از طریق چرخ دمیده و سرد می‌شود و سپس در یک کولر تبخیری مستقیم (DEC) خنک‌تر می‌شود و وارد ساختمان شده و آن را خنک می‌کند، و به فاصله کوتاهی توسط اگزوز فن (اختیاری) خارج می‌شود. نمودار وسط نشان می‌دهد که چگونه در آب و هوای مناسب و در هنگامی که چرخ و کولر مستقیم بالایی و فن خاموش هستند و اگزوز فن اختیاری کار می‌کند، کل سیستم توسط سرمایش تبخیری مستقیم عمل می‌کند. نمودار پایین‌تر نشان می‌دهد که چگونه سیستم اول در بالا، از طریق تغییر جزئی، به یک سیستم بازیافت حرارتی زمستانی تبدیل شده و با اضافه شدن کویل گرمایشی (HC) بخار یا آب گرم، به یک سیستم گرمایشی کامل تبدیل می‌شود. هوای گرم برگشتی ساختمان، از طریق اولین کولر مستقیم (در حال حاضر غیر فعال) دریافت شده، از طریق چرخ، به گرمای پسماند محیط دمیده شده و خارج می‌شود. در همین حال، هوای تحویلی (یا جبرانی) توسط چرخ دریافت و پیش‌گرم شده و سپس در کویل گرمایش گرم می‌شود. این هوا از طریق کولر مستقیم غیر فعال دیگر عبور کرده و وارد ساختمان شده آن را گرم می‌کند. اگزوز فن اختیاری غیر فعال است.

با این حال، اگر شرایط داخلی، مانند رختشویخانه‌ها، آشپزخانه‌ها، فرآیندهای صنعتی مرطوب، و غیره، هوای ثانویه را بیش از حد آن مرطوب نکند برای به دست آوردن تاثیر بازیابی، این هوای ثانویه می‌تواند بخشی یا حتی تمام هوای سرد برگشتی باشد. بر طبق گزارشات، قابلیت بازیابی باید عملکرد سرمایه‌های هوا را از EER ۵۰ به ۸۵ افزایش دهد.

این تولیدکننده برای تن‌های سرمایه‌های کوچکتر و بزرگتر از دیگر شیوه‌های سرمایه‌های غیر مستقیم استفاده می‌کند که در جای دیگر بحث شده‌اند.

سرویس بازیابی حرارت زمستانی

چرخ‌های تبادل حرارت، در درجه اول برای بازیافت گرمای هدر رفته تولید می‌شوند، مثل حالتی که از هوای استفاده شده، بد بو، کم اکسیژن مدارس، کافه‌ها و سالن‌های نمایش یا صدها نوع ساختمان دیگر برای پیش گرم نمودن هوای جبرانی استفاده می‌شود. هوای آلوده شده از یک طرف چرخ خارج شده، در حالی که هوای فیلتر شده خارجی از طرف دیگر مکیده شده و با حرارت تلف شده سمت دیگر گرم می‌شود.

هر دو سیستم سرمایه‌های فوق، در زمستان برای این منظور کار می‌کنند. فنی که هوای خارج را از طریق کولر مستقیم ثانویه مکش می‌کند، حالا هوای برگشتی از اتاق‌ها را گرفته و از طریق نیمی از چرخ آن را می‌فرستد. فنی که هوای تازه را به داخل مسیر هوای اولیه هدایت می‌کند نیز مجدداً این هوا را به منظور گرمایش از چرخ و سپس از طریق یک کویل گرمایش (اختیاری) جریان داده و در نهایت به سیستم گرمایش منتقل می‌کند (به شکل ۷ این فصل مراجعه کنید).

البته، هر دو کولر مستقیم تبخیری خاموش هستند، هر چند زمانی که هوای محیط بیش از حد خشک است، مانند آب و هوای سرد، از هوای اولیه می‌توان برای رطوبت‌زنی هوای جبرانی تازه استفاده کرد.

یک کویل گرمایش اختیاری، که بعضی اوقات به عنوان "کویل بازپخت"^۱ نامیده می‌شود، در سردترین شرایط اقلیمی نیز کار می‌کند. در هنگام سرمای شدید، این کویل تضمین می‌کند که هوای جبرانی تازه‌ای که چرخ انتقال حرارت را ترک می‌کند، به وضوح در دمایی بالاتر از نقطه شبنم مرطوب‌ترین هوای درون ساختمان است. در غیر این صورت، کانال‌هایی که به تاسیسات حرارتی واقع در زیرزمین یا جاهای دیگر راه دارند، احتمالاً با تقطیر و چکه مواجه می‌شوند، در حالی که تمام اتاق‌هایی که از آن می‌گذرند را سرد می‌کنند. در مواقعی ممکن است حتی در این کانال‌ها یا لوله‌های مجاور آن یخ‌زدگی ایجاد شود.

سرویس بازیافت گرمای زمستانی چنین سیستم‌های غیرمستقیمی، دارای ارزش اقتصادی مشخصی، به ویژه برای کاربران با بارهای تهویه سنگین، است. بنابراین محاسبات مربوط به اقتصاد و دوره بازگشت سرمایه، باید دوره سرویس زمستانی را همچون دوره تابستانی خود، را نه صرفاً از نظر ماه‌های استفاده، بلکه در رابطه با صرفه‌جویی‌های مالی، منظور کند. در بسیاری از مناطق ممکن است هزینه‌های کاهش یافته زمستانی، از صرفه‌جویی حاصل از کاربرد تجهیزات غیر مستقیم- مستقیم تابستانی به جای سیستم برودتی، بیشتر شود.

پرسش‌های دوره‌ای

- ۱- چه مشکلاتی موجب شده تا سرمایه‌های غیرمستقیم قدیمی برج و کوئل از دور خارج شود؟ (همچنین به فصل‌های ۲ و ۲۰ مراجعه کنید.) آیا احتمالاً اختلافات هوا و آب منطقه، امروزه به چنین سیستم‌هایی کمک می‌کند؟ آیا تصفیه آب امر جدیدی خواهد بود؟
- ۲- چگونه برج‌های خنک‌کن coil-shed برای کاهش چنین مشکلاتی کمک می‌کنند؟ آیا آن‌ها موفق شدند به موفقیت برسند؟ چرا؟ آیا بازده اشباع بهبود یافته برج خنک‌کن، مثلاً در اثر سطوح تماس هوا و آب از ماده واسط صلب، اصول coil-shed یا مبدل‌های حرارتی مایع را اقتصادی‌تر خواهد کرد؟ توضیح دهید.
- ۳- در کولر غیر مستقیم کوچک (پکیج) چهار مرحله‌ای، قبل از مرحله مستقیم نهایی، چند مرحله هوای اولیه خشک و سرد می‌شود؟ اصول اشباع آدیباتیک کجا و چگونه قربانی می‌شود؟ آیا این مهم است؟ توضیح دهید.
- ۴- استفاده روزافزون از سرمایه‌های برج و کوئل حلقه باز در سیستم‌های برودتی بزرگ آب سرد را توضیح دهید. چرا آن‌ها عمدتاً در سرما و حتی آب و هوای سرد استفاده می‌شوند؟ سیستم صافی و پس‌شویی^۱ را توضیح دهید. چرا لازم است؟ آیا چنین سیستم‌های حلقه بازی در منطقه نیویورک به کار می‌روند؟
- ۵- توضیح دهید که چگونه دمای “شبانه‌روز”^۲ بین روز و شب نوسان کرده و نرخ مصرف برق ارزان شبانه می‌تواند مدرسه یا ساختمان‌های دیگر را در روز خنک کند. چه ویژگی‌هایی باعث می‌شود که انتقال گرمای coil-shed یا حلقه بسته، مقرون به صرفه باشد؟ چه چیزی هزینه اولیه این سیستم‌ها را بالاتر از سرمایه‌های برودتی و سایر سرمایه‌های غیر مستقیم می‌کند، گر چه هزینه‌های عملیاتی ممکن است پایین‌تر باشد.
- ۶- عمل کولرهای غیر مستقیم نوع لوله افقی را توضیح دهید. چرا پلاستیک می‌تواند به عنوان سطوح انتقال حرارت استفاده شود؟ چه چیز دیگری جدید است؟ مزیت آن چیست؟ چگونه هسته‌ها، حاوی مجموعه‌های لوله‌های ترکیبی هستند تا تقریباً به هر ظرفیت سرمایه‌ی دسترسی پیدا کنند؟
- ۷- کدام نوع فن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند و در کجا قرار می‌گیرند؟ حدوداً چه نسبت هوای ثانویه به هوای اولیه‌ای استفاده می‌شود؟ چگونه استفاده از بازیابی هوا در تابستان به استفاده

از کولرهای زمستانی برای تهویه هوای گرم کمک می‌کند؟ توضیح دهید. با این روش هوای جبرانی چه مقدار پیش‌گرم می‌شود؟

۸- چرا کولرهای تبخیری غیرمستقیم به ندرت در یک مرحله اجرا می‌شوند؟ یک سیستم ساده غیر مستقیم - مستقیم را تعریف کنید. همین امر را با یک تقویت‌کننده غیر مستقیم ساده در نظر بگیرید. تقویت‌کننده چه مزیتی دارد؟ آیا می‌توان یک سیستم غیر مستقیم-مستقیم با تقویت‌کننده را از دو راه استفاده کرد؟ توضیح دهید.

۹- کدام یک از سه روش کولرهای غیرمستقیم-مستقیم لوله‌ای بود که در مطالعه ۱۶ شهر مورد بررسی قرار گرفت؟ کدام مرحله‌بندی، کمترین میانگین دمای شستشوی هوا را به دست آورد؟ کدام مرحله‌بندی بیشترین هوای شسته شده را به ازای کمترین توان داشت؟ کدام مرحله‌بندی کمترین میانگین درصد نسبت به هزینه برق سیستم برودتی را داشت؟ بگویید چرا. کدام مرحله‌بندی را برای یک محل دارای رطوبت بالاتر از حد متوسط انتخاب می‌کنید؟ توضیح دهید.

۱۰- دو کولر غیر مستقیم لوله افقی تشریح شده را مقایسه کنید. کدام یک طولانی‌ترین کاربرد میدانی را دارد؟ در کدام یک تعویض لوله و روکش لوله ساده‌تر به نظر می‌رسد؟ کدام یک اثرات سرمایه‌ش بالاتری دارد؟ چرا و به چه دلیل فنی؟

۱۱- چرا باید ادعاهای عملکرد سرمایه‌ش غیر مستقیم مورد سوال قرار بگیرد، مگر این که همراه با داده‌های افت دمای مرطوب مربوط باشد؟ توضیح دهید. آیا کولرهای غیر مستقیم-مستقیم باید از لحاظ EER سرمایه‌ش هوا به ازای هر درجه افت دمای مرطوب از نظر اقتصادی ارزیابی شوند؟ چه چیزی ممکن است بهتر باشد؟ توضیح دهید.

۱۲- در سیستم‌های غیرمستقیم-مستقیم با مراحل سوم برودتی در مقیاس کوچک، کدام مراحل گرمای محسوس هوا را کاهش می‌دهند، و چگونه و کدام مراحل گرمای نهان را؟ در پروژه چهار شهر با موضوع عملیات سالانه چنین سیستم‌هایی، کدام شهر غیراقتصادی محسوب شد؟ چرا؟ آیا این سیستم در شیکاگو مقرون به صرفه بود؟ در مقایسه با سرمایه‌ش تمام برودتی چند درصد صرفه‌جویی انرژی در آنجا ایجاد شد؟ در مورد استفاده از این سیستم در جاهای دیگر چه چیزی پیشنهاد می‌شود؟

۱۳- کولر غیرمستقیم لوله عمودی را توضیح دهید. چرا این کولر بیشتر یک پکیج کامل از مدل لوله افقی است؟ چگونه مقاومت جریان حرارت لایه هوای اولیه، به حداقل می‌رسد؟ چگونه و در کجا لایه‌های آب در حال حرکت در تماس با هوای ثانویه نگه داشته می‌شوند؟ عملکرد

"جفتی" این ماشین‌ها چیست؟ بدین ترتیب چه مولفه‌هایی حذف می‌شود؟ مزیت گرمایی چیست؟

۱۴- چرا افزودن پیش‌سرمایش غیرمستقیم به سیستم‌های تهویه مطبوع موجود، اغلب اقتصادی‌تر از جایگزینی آن‌ها به طور کامل است؟ در مطالعه اقتصادی ۱۲ شهر دارای چنین سیستم‌های ترکیبی، در چه شهرهایی سرمایه‌گذاری جدید در کمتر از سه سال بازپرداخت شد؟ در چه شهرهایی بازگشت سرمایه کمتر از دو سال بود؟ در صورتی که کولرها، مجاز به جایگزینی سیستم‌های برودتی بیشتری بودند، در کجا ممکن بود بازگشت سرمایه در ظرف یک سال باشد؟ در چه شهرهایی دوره بازگشت سرمایه، طولانی‌ترین بود؟ چرا.

۱۵- چگونه چرخ‌های ذخیره‌سازی گرما یا انتقال حرارت جدید ساخته شده امروزی با چرخ‌های اولیه Pennington مقایسه می‌شوند؟ چرا باید سرعت هوای و جهورودی (رخ) را پایین آورد تا تلفات فشار استاتیک جریان هوا را کاهش داد؟ مشکل عمده دیگر آن‌ها را توضیح دهید. استفاده از آن‌ها را به عنوان کولرهای ساده غیر مستقیم توصیف کنید (همچنین به فصل ۲۰ مراجعه کنید). چه ضریب تاثیر سرمایشی را می‌توان انتظار داشت؟

۱۶- از چه زمانی کارکرد چرخ‌های مذکور ترکیبی نامیده شد؟ چگونه کارکرد آن با سیستم ساده مستقیم- غیر مستقیم متفاوت است؟ چگونه کاربران می‌توانند استفاده خود را متناسب با آب و هوا انجام دهند؟ اگر EER معمولی شاید ۵۰ باشد، بر طبق گزارشات هوای برگشتی چقدر آن را بالا می‌برد؟

۱۷- چرا در چرخ‌های انتقال حرارت، به طور معمول دو جریان هوا در جهت مخالف هم هستند؟ چرا رسوب‌گذاری در چنین چرخ‌هایی هیچ مشکلی به وجود نمی‌آورد؟ آیا دور ریزی آب و غیره می‌تواند به طور کامل حذف گردد؟ شرح دهید. چرا ممکن است کولرهای غیرمستقیم با EER پایین برای کار در سراسر طول سال، بسیار مقرون به صرفه باشند؟ کدام یک از کولرهای غیر مستقیمی که در این فصل و فصل آخر مورد بحث قرار گرفته‌اند به نظر برای بازیابی گرما از هوا و گازهای با دمای بیش از $F 212$ ($C 100$) مناسب هستند؟ کدام یک کمتر مناسب هستند؟

۱۸- کوپل بازپخت چیست و در سیستم‌های هوای جبرانی زمستانی چه کاری انجام می‌دهد؟ در سردترین آب و هوا، اگر چرخ انتقال حرارت، هوای جدید را به اندازه کافی گرم نکند، چه می‌تواند رخ دهد؟

فصل ۲۳

تجرباتی در زمینه سرمایش غیر مستقیم

به غیر از سیستم‌هایی که پیش از این مورد بحث قرار گرفتند، سه مورد جدید قابل توجه هستند . یک جنبه درخشان از گرمایش خورشیدی ، **سرمایش غیر مستقیم با بستر سنگی**^۱ است که از امکانات ذخیره‌سازی حرارت خورشیدی واقعی در فصول غیر گرم استفاده می‌کند ، و در مقابل **سرمایش غیر مستقیم غیرفعال**^۲ بیشتر نشانگر فلسفه(و نه فناوری) گرمایش خورشیدی است.

سومین مورد ، **سرمایش غیر مستقیم دسیکانت(رطوبت‌گیر)**^۳، است که در صورت استفاده از گاز طبیعی ارزان و گرمای اتلافی در برخی صنایع رونق دارد. در حال حاضر گرمایش خورشیدی می‌تواند آن را در دیگر نقاط گسترش دهد . این سه مورد در ادامه مورد بحث قرار خواهند گرفت .

سرمایش غیر مستقیم با بستر سنگی

گسترش استفاده از گرمایش خورشیدی باعث توسعه ذخیره گرما توسط بسترهای سنگی بازیاب در سراسر جهان شده که بسیاری از آن‌ها در قلمرو اولیه سرمایش تبخیری قرار دارند. به منظور سرمایش تابستانی، محققین با استفاده از کولرهای تبخیری مستقیم، سیستم‌هایی را برای سرد کردن شبانه بسترهای سنگی در تابستان و سپس سرمایش هوای تغذیه در روز بعد، ارائه کردند.

1- Rock-bed indirect cooling

2- Passive indirect cooling

3- Desiccant indirect cooling

بسترهای سنگی معمولاً عایق بوده و اغلب، جعبه‌ها یا مخازن زیرزمینی، از چندین تن ریگ تمیز، خشک و گرد دارای حفره‌های کافی بین سنگریزه‌ها پر می‌شود تا این که هوا به آسانی از کل بستر عبور کرده و تقریباً با تمامی سنگ‌ها تماس برقرار می‌کند. در صورت استفاده از بتن با سطح بیرونی عایق، بیشتر مواد مخزن به عنوان توده ذخیره سازی گرما مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مخازن دفن شده نیاز به آب‌بندی در برابر آب باران و آب زیر زمینی دارند، چون جلبک یا کپک و بوهای موجود در شن‌ها، تهدید محسوب می‌شوند. کانال‌های فراخ، تمام هوای گردشی را به داخل و خارج مخازن تغذیه می‌کنند تا با تمامی ریگ‌ها و شن‌ها در تماس قرار بگیرد. چیدمان جریان بازگشت-پذیر است. به منظور حداکثرسازی بازده، هوای در حال خنک شدن و هوای شسته شده در جهت مخالف هم عبور می‌کنند. در مقایسه با جریان مخالف در مبدل‌های حرارتی دارای سیال، هوای تغذیه‌ای که سرد می‌شود باید با سردترین سنگ‌ها تماس داشته باشد تا اختلاف دمای متوسط هوا-سنگ را به حداکثر برساند.

به طور کلی، سنگ‌های کوچک‌تر، گرما را سریع‌تر جذب کرده یا پس می‌دهند، اما مقاومت در برابر جریان هوا از طریق آن‌ها بیشتر است. بیشتر آن‌ها سرد شده تا دارای اندازه یکنواختی با قطری بین $\frac{1}{4}$ اینچ (۱/۲ سانتی‌متر) و $\frac{3}{4}$ اینچ (۴ سانتی‌متر) باشند. این امر موجب ایجاد ۴۰ تا ۴۵ درصد فضای حفره‌ای، برای عبور آسان هوا می‌شود.

اندازه بستر

چنین بسترهایی به ندرت برای سرمایش طراحی شده و بیشتر برای گرمایش خورشیدی طراحی می‌شوند. در واقع، ممکن است بسترهایی که صرفاً برای سرمایش هستند مقرون به صرفه نباشند. اکثر سایر سیستم‌های غیر مستقیم، باید برای سرمایه‌گذاری بسیار کم‌تر، عملکرد قابل مقایسه‌ای داشته باشند. با این حال، چون بسترهایی ذخیره‌سازی حرارتی خورشیدی در حال رشد هستند، بنابراین کاربرد سرمایشی آن نیز باید رشد کند.

یکی از مراجع، توصیه‌های کلی زیر را در مورد ذخیره حرارت خورشیدی ارائه داده است:

حجم بستر: ۰/۸۲۵ فوت مکعب در هر متر مربع (۰/۲۵ متر مکعب بر متر مربع) از سطح گردآورنده (کلکتور).

نرخ جریان هوا: ۲ cfm به ازای هر فوت مربع ($0.1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$) از سطح گردآورنده.

اندازه سنگ‌ریزه (شن): ۰/۵ تا ۱/۵ اینچ (۲۷/۸-۱/۳ cm) قطر معادل.

افت فشار در بستر: ۰/۱ تا ۰/۳ اینچ آب (۲۵ تا ۷۵ پاسکال).

برای سرمایش، به بسترهای سنگی بزرگ‌تر از حالت گرمایش خورشیدی نیاز است. وقتی که بسترها توسط خورشید تا ۱۳۰ درجه فارنهایت (۵۴ درجه سلسیوس) یا بیشتر گرم می‌شوند، که دست‌کم ۶۵ درجه فارنهایت (۳۵ درجه سلسیوس) گرم‌تر از هوایی است که گرم می‌شود، در تابستان هوای شسته شده به ندرت می‌تواند بستر را تا زیر ۶۰ درجه فارنهایت (۱۵/۶ درجه سلسیوس) سرد کند که تنها ۱۵ درجه فارنهایت (۸/۳ درجه سلسیوس) کمتر از هوایی است که می‌خواهد خنک شود. بنا بر این، با توجه به گرمای ویژه معمول سنگ‌ها که $0.21 \text{ Btu/lb/deg F}$ (0.88 kJ/kg/deg C) است، برای ذخیره سرمایش، در مقایسه با ذخیره گرمایش، به جرم بیشتری نیاز است. برای ساختمان‌های تکی، تغییر نسبت بار گرمایشی به بار سرمایشی بر حسب طراحی و اقلیم مجاز نیست.

یک پروژه تحقیقاتی دانشگاه ایالتی کلرادو با این مشکل مواجه شد. خانه خورشیدی آزمایشی این پروژه که در سال ۱۹۷۵ ساخته شد، دارای یک کولر مستقیم آبی-پرتابی و یک رطوبت زن، فن و کنترل‌هایی برای سرمایش تابستانی بود.

این خانه در نزدیکی شهر فورت کالینز ایالت کلرادو قرار داشت که در ماه ژوئیه، دمای متوسط به ۷۵ درجه فارنهایت (۲۴ درجه سلسیوس) می‌رسد. خانه ۲ طبقه با ۳ اتاق خواب، یک زیرزمین کامل، سقف شیروانی، عایق کاری کامل و پنجره‌های دو جداره بود. بستر سنگی گرمایش خورشیدی، برای آب و هوایی طراحی شده بود که در طی یک روز در ماه ژانویه دمای متوسط 30 F (-1 C) بود.

بستر در زیرزمین قرار داشت و حاوی $360/22$ فوت مکعب ($10/2$ متر مکعب) یا حدود $10/26$ تن (۹۳۱۸ کیلوگرم) سنگ‌ریزه بود. اگر حجم داخلی خانه $21,022$ فوت مکعب (۵۹۶ متر مکعب) باشد، سنگ‌ها حدود 1 lb/cu ft (0.062 کیلوگرم بر متر مکعب) وزن داشتند.

در آزمون سال ۱۹۷۷ اثبات شد که این ذخیره حرارتی خورشیدی، برای اغلب شب‌های پس از یک روز آفتابی کافی است، اما برای شب‌های با سرمای غیرمعمول یا بعد از روزهای نیمه ابری یا ابری کافی نبوده و در نتیجه، بستر برای گرمایش خیلی کوچک بود. این بستر برای سرمایش هوا بسیار ناکافی بود و معمولاً تنها برای ۵ ساعت در روز ایجاد آسایش می‌کرد. محققان به این نتیجه رسیدند که برای یک سرمایش موثر به یک بستر حداقل دو برابر بزرگ‌تر و به علاوه به طور متناسب به یک فن و جریان هوای بزرگ‌تر نیاز است.

سرمایش بسترهای سنگی

در شب، اغلب در ساعات اولیه صبح، زمانی که دمای مرطوب هوا کمترین است، بستر به وسیله دمش هوای شسته شده از طریق آن‌ها، که ترجیحاً از کولرهای مستقیم با بازده اشباع بیش از ۹۰ درصد است، پر می‌شود. در اینجا، سیستم‌های بستر سنگی، بیشتر روش‌های سرمایش غیر مستقیم را از دور خارج می‌کنند. با استفاده از شرایط دمای مرطوب پایین‌تر، آن‌ها به راحتی بسترها را تا زیر دمای مرطوب هنگام روز خنک می‌کنند.

عمل پر کردن (شارژ) می‌تواند توسط تنظیم تایمر برای استفاده از نرخ انرژی (برق) ارزان شبانه آغاز شده و در زمانی به پایان برسد که دمای هوای شسته شده‌ای که سنگ‌ریزه‌ها را ترک می‌کند، به دمای ورودی آن نزدیک می‌شود. این امر نشانگر حداقل دمای سنگ‌ریزه برای رسیدن به سطوح دمای مرطوب محیط است. هر گونه تلاش برای ذخیره بیشتر سرمایش، موجب اتلاف بیشتر توان می‌شود.

زمان پر (شارژ) کردن

اگر شارژ زود شروع شود (مثلاً در ساعت ۱۱ بعد از ظهر)، سرعت کم هوای شسته شده در بسترها کافی بوده و باعث صرفه‌جویی می‌شود. آزمایشات دانشگاه ایالتی آریزونا نشان می‌دهد که سرعت ورودی ۲۰ تا ۳۰ fpm (۰/۱۰ تا ۰/۱۵ m/s) کافی است. با توجه به فرصت چند ساعته، از هر دو نظر هزینه سرمایه‌گذاری و مصرف برق، سرعت‌های بسیار پایین و زمان شارژ ۴ تا ۸ ساعته توصیه شده که این مدت بر حسب دمای مرطوب، طول جریان بستر و تنظیمات کلید حرارتی متفاوت است.

دوره‌های شارژ طولانی نیز ذخیره سرمایش را به حداکثر می‌رسانند. صرف‌نظر از طراحی، مقدار قابل توجهی از جریان هوا در بستر کانالیزه می‌شود، که موجب سرمایش ناکافی سنگ‌ریزه‌هایی می‌شود که در مسیر قرار ندارند. ضریب رسانش پایین سنگ‌ها و تماس‌های ناقص آن‌ها فقط از طریق زمان، وظی شارژ آرام، قابل جبران است. بنابراین گرمایی که از طریق رسانش ذخیره می‌شود، در طول چرخه سرمایش طولانی روزانه برداشت می‌شود.

سرمایش اتاق‌ها

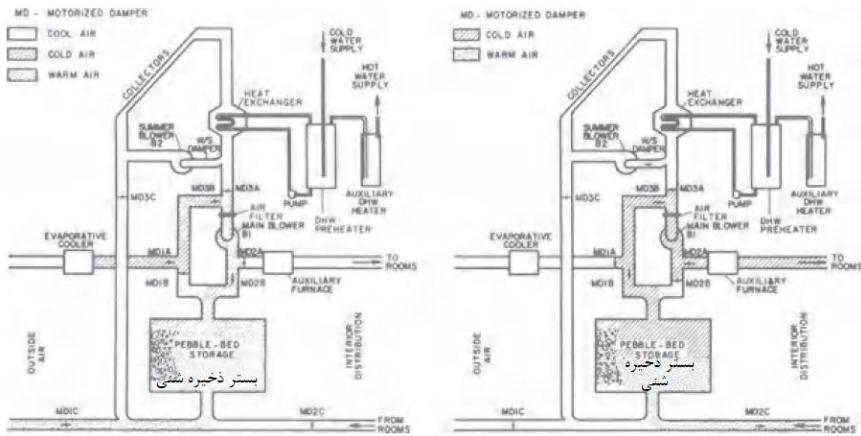
چنین سیستم‌هایی، سه حالت سرمایش ممکن دارند: تهویه (هوارسانی) ساده هوای تازه؛ سرمایش از طریق ذخیره‌سازی، با یا بدون مرحله دوم، و سرمایش مستقیم. البته، ممکن است بسترهای سنگی در معرض آب و هوای گرم قرار گرفته یا در معرض هوای اتلافی باشند. ملاحظات اقتصادی نشان

می‌دهد که تهویه ساده در زمان‌های مناسب نظیر بسیاری از صبح‌ها، غروب‌ها و شب‌ها کفایت می‌کند. به طور خاص، زمانی که سوییچ‌های حرارتی، شارژ را در حول و حوش مثلاً ۶ صبح متوقف کنند، فن‌های کولر مستقیم می‌توانند هوای فیلتر شده بیرون را (در صورتی که به اندازه کافی خنک باشد) به طور مستقیم از طریق کانال‌ها بدمند.

این سرمایش به طریق هوارسانی، مستلزم استفاده از دمپر خودکار یا موتوردار است که از نظر راهبردی با نصب اگزوزفن و کنترل‌های خاص همراه بوده، اما با انجام سرمایش در برخی اوقات روز، به بسترهای ذخیره‌سازی کوچک‌تر و ارزان‌تری برای بار سرمایشی ساعات گرم نیاز دارد.

بعدها، در اواسط صبح، هنگامی که ترموستات افزایش دمای داخلی را تشخیص می‌دهد، این فاز به پایان خواهد رسید. بعد از آن، فن‌های سرمایش، هوای خارجی فیلتر شده یا هوای برگشتی را از طریق بستر، که در آن هوا خنک می‌شود، به درون می‌کشند. پس از چند ساعت، تمام هوا، سنگریزه‌ها را تقریباً در دمای یکسانی ترک می‌کند تا این که دمای آخرین سنگریزه‌ها بالا برود. هر چه سنگریزه و شن بیشتر باشد، دمای هوای تامین شده یکنواخت‌تر بوده و مدت طولانی‌تری دوام می‌یابد (به شکل ۱ این فصل مراجعه کنید).

چون دمای سنگریزه لزوماً بالاتر از دمای نقطه شبنم است، نمی‌تواند رطوبت هوای تامین شده را گرفته یا بو و دود را حذف کند، البته فیلترهای هوا می‌توانند بیشتر گرد و غبار را از بین ببرند. از این رو، همانند تهویه مطبوع برودتی معادل (به جز از نظر نفوذ هوا و غیره)، بارهای نهان داخلی و آلودگی را از بین برده و هوای جبرانی بیرونی باید هوای برگشتی را تکمیل کند. این امر به طور طبیعی، سرمایش ذخیره شده را سریع‌تر از حالت عادی مصرف می‌کند. از این رو، سرمایش غیر مستقیم از نوع ذخیره‌ای را نمی‌توان در جایی توصیه کرد که در آن بارهای نهان سنگین یا معضلات ناشی از آلاینده‌ها انتظار می‌رود.



سرمایش شبانه با بستر ذخیره سنی

سرمایش از طریق ذخیره

شکل ۱- ذخیره سازی سرمایش با بستر سنگی در یک سیستم ترکیبی گرمایش و سرمایش خورشیدی در پروژه خانه خورشیدی (Solar House II) دانشگاه کلرادو. در سمت چپ، دمنده اصلی BI به طور شبانه هوای شسته شده را به درون بستر ذخیره کشیده و آن را "شارژ" می کند. در سمت راست، در حالی که دمبرها در موقعیت روزانه قرار دارند، دمنده هوای برگشتی خانه را از طریق بستر دریافت می کند تا آن را سرد کرده و جهت اهداف سرمایشی تحویل دهد.

یک سیستم دو مرحله ای

در سیستم که در دانشگاه آریزونا توسعه یافت، برای ایجاد سرمایش دو مرحله ای، یک بستر سنگی ذخیره سازی با گرمای خورشیدی بزرگ، با دو کولر مستقیم ترکیب شد. در شب، یکی از کولرها بستر را سرد کرده و دیگری به طور معمول خانه را خنک می کرد. سپس در طول روز، هوای گرم و خشک بیرون به صورت محسوس در بستر خنک شده و دومین کولر مستقیم، به منظور سرمایش اتاق ها، آن را بیشتر خنک می کند.

بدین ترتیب در این طرح از سرمایش مستقیم تک مرحله ای در شب و سرمایش دو مرحله مستقیم در طول روز استفاده می شود. مرحله بندی در حالت دوم همواره هوای شسته شده خنک تری را از دمای مرطوب محیط تولید می کند، اما بستر باید بزرگ باشد تا تمام طول روز هوای داغ بیرون را بپذیرد.

ارزیابی

همانطور که اشاره شد، به دلیل استفاده از شرایط دمای مرطوب بامدادی برای ذخیره سازی نهایی، سیستم های بستر سنگی، هوای تغذیه خنک تر از دیگر سیستم های غیر مستقیم تک مرحله ای را

تحويل می‌دهند. از آنجا که دمای سنگریزه لایه‌بندی شده‌است، این سیستم دمای ثابت‌تری را تا انتها تحويل می‌دهد. علاوه بر این، به عنوان کمکی سیستم‌های گرمایش خورشیدی، می‌توانند کمترین هزینه‌های سرمایه‌گذاری را در مقایسه با تمام سرمایه‌های غیر مستقیم ارائه می‌دهند.

البته، هنگامی که این سیستم به تنهایی استفاده می‌شود، ممکن است بیشترین هزینه را داشته باشد. وقتی که اکثر دیگر تجهیزات غیرمستقیم تحت شرایط کارخانه ساخته می‌شوند، بسترهای سنگی مستلزم کار کارگاهی بیشتری بوده که موجب افزایش هزینه کارگر می‌شود.

داده‌های عملکرد سرمایه واقعی کمیاب هستند. پروژه Solar House II داده‌های مربوط به سال ۱۹۷۷ را ارائه می‌دهد. انحراف در ماه اوت به دلیل ناکافی بودن بستر سنگی است:

کل سرمایه انجام شده

دوره آزمون	تهویه (هورسانی)	از ذخیره	سرمایش مستقیم
June, 15 days	7.0%	78.7%	13.7%
July, 28 days	3.9	80.2	14.8
Aug., 16 days	6.3	60.5	9.2
Sept., 28 days	1.7	85.9	7.9
میانگین وزنی	4.2%	78.2%	11.4%

به نظر تلفات از مخزن ذخیره اندک است. در طول دوره زمانی بالا، انرژی وارده به بستر بالغ بر ۶۷،۰۸۷،۸۶۷ (۷۴۷۷/۷ MJ) بود که ۶،۴۴۵،۲۱۳ Btu (۶۷۹۹/۷ MJ) آن به میزان ۹۰/۹ درصد برای بازیابی به کار رفت. نشتی از دمپر به عنوان بخشی از تلفات محسوب می‌شود.

از نظر اقتصادی، سرمایه کل فصل از مخزن ذخیره، ۷،۷۲۸،۲۴۶ Btu (۸۱۵۳/۳ MJ) بود که ۴،۲۱۵،۷۳۵ (۴۴۴۷/۶ MJ) از شارژ و انرژی سرمایه را مصرف کرده و COP معادل ۱/۸۳ یا EER سرمایه اتاق ۶/۲۶ (EER متریک ۶/۶) را داشت. یک مرحله دوم تبخیری مستقیم می‌توانست این مقدار را سه برابر بکند. همچون اغلب موارد دیگر، در اینجا نیز به نظر می‌رسد که نصب تجهیزات سرمایه غیر مستقیم بدون مرحله دوم، به صورت تبخیری مستقیم یا برودتی، منجر به اتلاف می‌شود.

یک سیستم نیمه پیوسته

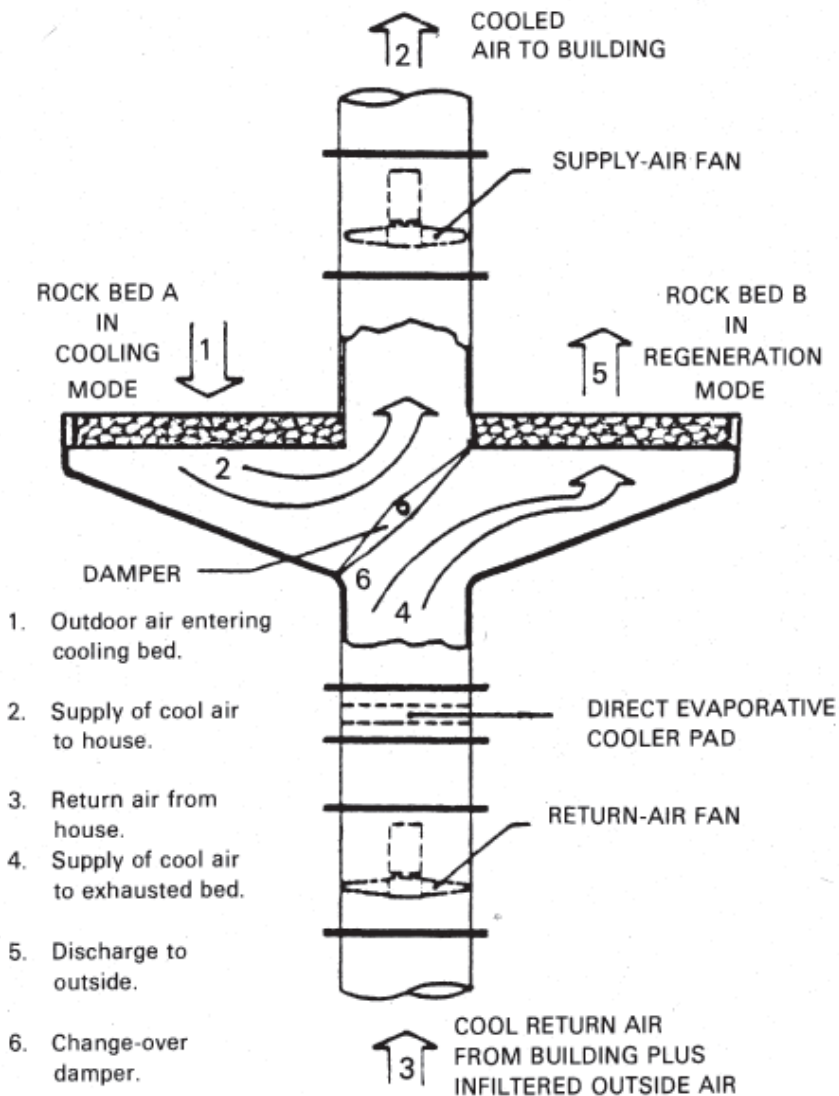
به نظر می‌رسد هزینه‌های سرمایه‌ای و فضای بسترهای سنگی برای ذخیره سرمایه طول روز، بدون توجه به عملکرد، غیر اقتصادی است. در نتیجه، محققین دانشگاه ایالتی آریزونا، دو واحد دو بستره دارای دو فن را با دیگر سیستم‌های غیر مستقیم مقایسه کردند. دو بستر ساخته شده در کارخانه، که

برای حمل با کامیون به اندازه کافی کوچک هستند، هر کدام از هر طرف به هوای آزاد بیرون راه داشته و از هر طرف دارای یک کانال مجهز به فن بوده که هوای برگشتی از اتاق‌ها را از طریق یک کولر تبخیری مستقیم جریان می‌دهد.

یک دمپر ساده لولادار تعیین می‌کند که کدام بستر هوای شسته شده را دریافت کرده و شارژ می‌کند و کدام یک هوا را سرد می‌کند. دمپر، بستر دوم را توسط یک فن تغذیه‌کننده هوا به یک بستر قبلاً شارژ شده متصل می‌کند. این بستر به صورت جریان مخالف با هوای شسته شده‌ای که قبلاً مسیر را شارژ کرده، هوای خارجی تازه را از طریق خود، به درون خود می‌کشد. بدین ترتیب هوا خنک شده و فن آن را به اتاق‌ها تحویل می‌دهد.

به صورت مفروض، در هر زمان که هوای خنک‌کن بستر در معرض تخلیه است، نظیر وقتی که آخرین اینچ‌های سنگریزه شروع به افزایش سریع دما می‌کنند؛ دمپر عملکرد بستر را تغییر می‌دهد.

این سیستم به صورت بازیاب از هوای برگشتی استفاده کرده و در نتیجه توانست در حصول دماهای داخلی به سیستم‌های بزرگتر نزدیک شود. وقتی تماماً از هوای تازه برای تغذیه استفاده می‌شود، این سیستم موجب هوارسانی گسترده‌ای می‌شود. به علاوه این سیستم، سرمایش خود را خارج نساخته و در مواقع نیاز، دمپرها سنگریزه تازه را جایگزین می‌کنند. البته، از آنجا که به هوای خشک برگشتی نیاز دارد، نمی‌تواند از مرحله دوم به صورت تبخیری مستقیم بهره بگیرد ولی سیستم برودتی بدین منظور مناسب است. به نظر می‌رسد که هیچ ترکیب ساده‌ای با گرمایش خورشیدی ممکن نیست (به شکل ۲ این فصل مراجعه کنید).



شکل ۲- یک سیستم طراحی شده سرمایش غیر مستقیم نیمه پیوسته با بستر سنگی. یک بستر سنگی دوقلوی ذخیره سرمایش طوری ترتیب یافته که یک دمپر، به صورت متناوب، جریان را در آنها برقرار می‌کند. همانطور که در شکل نشان داده شده، سنگ‌های از پیش سرد شده بستر سنگی A، هوای بیرون را خنک کرده و این هوا نیز ساختمان را خنک می‌کند. همزمان، هوای خنک برگشتی به علاوه هوای خارجی نفوذی به صورت آدیاباتیک تا بیش از ۹۰ درصد خنک می‌شود و بستر سنگی B را خنک کرده و سپس به بیرون تخلیه می‌شود. وقتی ضریب تاثیر بستر سنگی A کاهش می‌یابد، دمپر نقش دو بستر را معکوس می‌سازد.

واضح است که این سیستم سزاوار توسعه است. در مقایسه با اغلب چرخه‌های غیر مستقیم، این سیستم به مقدار کمتری آب، افشانه، فلز مرطوب و پمپاژ نیاز دارد. البته، ممکن است حداکثر ذخیره‌سازی سرمایش، در طی چرخه‌های شارژ کوتاه، مستلزم استفاده از سنگریزه‌های نسبتاً ریزتری بوده که مصرف توان فن در آن قابل ملاحظه است ولی احتمالاً از برخی سیستم‌های غیر مستقیم از نوع صفحه‌ای بیشتر نیست.

یک سابقه استرالیایی

در دهه ۱۹۶۰، محققین استرالیایی با استفاده از سیستم‌های بستر سنگی به صورت متناوب، تعدادی تجربه ظاهراً موفق داشتند. در بسیاری از آن‌ها از قاب‌های فلزی گالوانیزه شبیه توری بافته شده با مساحت ۵۰ فوت مربع (۴/۶ متر مربع) به عمق ۵ اینچ (۱۲/۷ سانتی‌متر) استفاده شد که با شن‌های سرند شده‌ای به قطر یک چهارم اینچ (۶/۴ میلی‌متر) پوشانده شده بودند که دارای روکش ضد رطوبت بودند. بعضی از آن‌ها دو بستر کنار هم بودند که به اندازه کافی کوتاه بوده تا در زیر سطح کف خانه‌های بدون زیر زمین قرار بگیرند. بقیه نیز دارای چهار بستر بودند که یک جفت آن روی دیگری قرار داشت

در هر صورت، در زیر هر جفت بستر، لایه‌ای از شن به ضخامت سه چهارم اینچ (۱۹ mm) قرار داشت که به صورت دوره‌ای به روی آن آب پاشیده می‌شد تا به عنوان یک کولر مستقیم عمل کند. هوای خشک برگشتی از اتاق، از طریق این بستر دمیده می‌شد و سپس از بستر ذخیره سرمایشی بالایی عبور می‌کرد. سپس هوای شسته شده به بیرون دفع می‌شد.

در همین حال ۲۰۰۰ cfm (۵۶/۶ m³/min) هوای خارجی تازه از طریق بستر ذخیره سرمایش دیگری کشیده شده و خنک می‌شد. پس از آن، یک فن تغذیه، این هوا را به کانال‌های ساختمان تحویل می‌داد. همانطور که این بستر به تخلیه نزدیک می‌شود، در هر ۵ دقیقه کنترل‌ها، دمپرها را تغییر داده و نقش بسترها برعکس می‌شود.

این سیستم ساده هوشمندانه، در خود از فن‌های کوچک محوری استفاده می‌کرد که به طور آشکار برای حرکت هوا از طریق تبخیرکننده و یک بستر ذخیره‌سازی کفایت می‌کرد. احتمالاً این چیدمان چهار بستره به اندازه کافی ضخامت بستر را نازک می‌سازد تا فن‌ها بتوانند در آن کار کنند.

همانند همتای آریزونایی، این سیستم می‌تواند در کارخانه تولید شده و دارای بسترهای عمودی جفتی باشد که به نظر به اندازه کافی برای نصب در زیرزمین یا موتورخانه جمع و جور و فشرده است. بنا بر گزارشات، این سیستم دارای ضریب تاثیر تبادل گرمای محسوس ۹۰ درصد است. از این رو به نظر می‌رسد که ارزش توسعه بیشتر را دارد.

سرمایش غیر مستقیم غیر فعال

به دلیل تبخیر، دمای آبی که در معرض آفتاب قرار دارد به ندرت از دمای مرطوب بیشتر می‌شود. از این رو، استفاده از پشت بام مسطح مستغرقی به ضخامت چند اینچ، یا پاشش افشانه به صورت سیستماتیک به روی بام‌های شیب‌دار، مکمل عایق‌بندی خانه‌ها و ساختمان‌ها است.

در حالی که، در تابستان، دمای بام‌های مسطح تیره ممکن است از $F 110 (C 43)$ بیشتر باشد، دمای پشت‌بام‌های مرطوب احتمالاً به طور متوسط کم‌تر از $F 100 (C 38)$ بوده و در نتیجه گرمای کمتری را به سمت پایین رسانش می‌کنند. اگر بر روی این بام سایه خوبی گسترده‌شود، دمای آب می‌تواند به دمای مرطوب برسد. در واقع، استخرهای سقفی سایه‌دار با دمای $F 65 (C 18)$ واقع بر روی پشت‌بام‌های مسطح نازک، می‌توانند گرمای برخاسته از اتاق‌های زیرین را به خوبی دفع کرده و در مقابل موجب سرمایش داخلی به طریق تابشی شوند.

البته، چنین سقف‌های نازکی دارای مشکلاتی در زمستان هستند، بنا بر این محققین، یک سیستم برکه سقفی ایجاد کرده‌اند که هر دو حالت، سرمایش همرفت و تابشی غیر مستقیمی با اتاق‌های زیر خود داشته و بر روی عایق‌کاری زمستانی نیز تاثیر نامطلوبی ندارند. این سیستم هم غیر فعال است، که هیچ قطعه متحرک یا اتصالات برقی ندارد.

سیستم استخر خنک

در اینجا، یک برکه سقفی (واقع در پشت بام) پهناور، در اغلب ساعات تابش روزانه، سایه خود را بر روی ساختمان می‌گستراند. در حالت ایده‌آل، آب برکه در معرض آسمان شبانگه‌ای است تا تابش به سمت بالا، موجب پیش‌سرمایش آن برای روز بعد شده، که اغلب چند درجه پایین‌تر از دمای مرطوب بامدادی است.

این برکه‌ها معمولاً ۱۲ اینچ (۳۰/۵ cm) عمق داشته و کف و کناره‌های آن عایق است. وزن آن‌ها چند تن بوده و نیازمند سازه نگهدارنده قوی هستند. شیرهای شناور سطح آب را کنترل می‌کنند، لوله‌های سرریز باران را دفع می‌کنند، و سیستم دور ریز نیز غلظت مواد معدنی محلول را محدود می‌کند.

طبیعتاً، این استخرها نباید گرمای مستقیم خورشید را دریافت کنند. اگر که ساختمان‌ها دارای پشت بام پلکانی هستند، استخرهای سطوح پایین‌تر می‌توانند تحت سایه طبقات بالاتر جنوبی یا جنوب غربی قرار داشته باشند. بیشتر طرح‌ها با دقت از تیغه‌ها یا دیوارک‌های چوبی اریب هم فاصله ساخته شده‌اند که، در زوایای خورشیدی متوسط، موجب تشکیل سایه‌های روی هم، بر روی آب شده ولی

جریان باد را متوقف می‌کنند. البته، در زوایای خورشیدی بالا، سایه‌بان‌های افقی، که از هم پوشانی تیغه‌هایی به شکل عدد ۸ ساخته می‌شوند بهتر هستند، اما آسمان شبانگاهی را مسدود می‌کنند.

ممکن است عناصر سایه‌گستر از آلومینیوم بازتابنده باشند تا از بازتابش اشعه خورشیدی دریافتی به سمت پایین ممانعت کرده و تابش شبانه را به سطح بزرگتری از آسمان تیره منعکس کنند. دیوارک‌های متحرک یا لولادار نیز می‌توانند در اینجا به کار روند.

متاسفانه، همه تابش خورشیدی جهت‌دار نیست. بسیاری از آن به صورت پخشی بوده و به آسانی مسدود نمی‌شود. برخی از تشعشعاتی که از ابرها، زمین یا حتی رطوبت موجود در مه بازتاب می‌شوند، می‌توانند از وسایل سایه‌گستر عبور کنند.

ستون‌های آب

از این برکه‌ها، در اثر خاصیت ترموسیفون آب خنک به ستون‌های آب توخالی درون اتاق‌های زیرین رفته و گرمای محسوس داخلی را جذب می‌کند که موجب بالا آمدن آب بازگشتی به برکه‌ها به منظور دفع می‌شود.

ستون‌ها اغلب دارای طول عمودی برابر لوله موج‌دار و گالوانیزه زیرگذر، با قطر ۱۸ in (۴۵/۷ cm) هستند که صفحات فولادی جوشکاری شده، انتهای آن را آب‌بندی کرده و بر روی پدهای چوبی بر روی کف قرار دارند که پر از آب برکه است. دیواره‌های آن، احتمالاً خنک‌ترین سطح اتاق بوده و گرما را با هر دو روش همرفت و تابش جذب می‌کنند. موج‌دار بودن دیواره لوله، باعث افزایش سطح لوله تا حدود ۴۰ درصد می‌شود.

بدین ترتیب ستون‌ها، چاه‌های حرارتی غیرفعال و خاموشی هستند که به سرعت تابش را از دیواره‌ها، پنجره‌ها، و اشیاء گرم مانند چراغ و انسان‌ها دریافت کرده که مقدار آن به وسیله تعاملات پیچیده دماهای نسبی، نسبت‌های ضریب نشر (گسیل) - ضریب جذب و فواصل تنظیم می‌شود.

چون ستون‌ها سردتر از هوای اتاق هستند موجب ایجاد "حلقه‌های همرفت"^۱ شده که طی آن جریان هوا از سطوح فولادی به سمت کف رفته، به سمت منابع گرما رانده شده، به سمت سقف بالا رفته، و مجدداً به ستون‌ها باز می‌گردد. بنابراین، هوای اتاق به آرامی گردش کرده و هر ستون تکی می‌تواند تمام اتاق‌های یک یا دو طبقه خنک کند تا دمای هوای کاملاً یکنواختی به دست آید.

ستون‌ها ممکن است به طرق مختلفی چیده شوند. ممکن است ردیفی از آن‌ها دو اتاق را از هم جدا کرده و خنک کنند یا چند تا از آن‌ها توسط یک برکه تغذیه شده و یک فضای بزرگ را خنک کنند. ممکن است ستون‌های بلند، حتی اتاق‌های دو یا سه طبقه مجزا، یا ستون‌های مسطح صفحه‌ای توخالی که به صورت دیوار هستند را خنک کنند.

گردش آب

چیدمان‌های متفاوتی وجود دارد، اما یک جفت لوله بزرگ با مقاومت پایین در برابر جریان، طوری این برکه‌ها را ترک می‌کند، که یکی در کف برکه و دیگری در نزدیک سطح آب است. آن‌ها لوله‌های عمودی گردش دهنده‌ای^۱ هستند که به ترتیب در حال تحویل سردترین آب به ستون‌ها و برگشت آب گرم شده به برکه‌ها هستند.

برای گردش و وضعیت ظاهری بهتر، لوله‌های پایین رو^۲ در بالا وارد ستون‌ها شده و به سمت پایین می‌روند تا آب را درست به بالای کف آن‌ها برسانند. بالعکس، لوله‌های بالا رو^۳، آب را از بالای ستون می‌گیرند. گردش آب به این دلیل است که وزن آب سرد لوله‌های عمودی کمی بیش از آب گرم درون ستون‌ها و لوله‌های بالا رو است. نرخ جریان نیز با ارتفاع سطوح آب نسبت به پایین لوله‌های عمودی متفاوت است. بنابراین، هر چه گرمای بیشتری توسط ستون جذب شده و سیستم بلندتر باشد، آب سریع‌تر گردش می‌کند. یکی از محققین، از طریق برخورد گرمای خورشید به ستون‌ها، موجب شتاب‌گیری جریان شد.

عملکرد

یک سیستم آزمایشی در کالیفرنیا، دارای برکه سقفی سایه‌داری به مساحت ۶۰ فوت مربع (۵/۵۷ متر مربع) است که به دو ستون ۸ فوتی (۲/۴۴ متری) با قطر ۱۸ اینچ (۴۶ cm) متصل است که در مرکز یک ساختمان آزمایشی با مقطع مربع به ضلع ۱۲ فوت (۳/۷ متر مربع) قرار دارد. تمام سرمایه‌ی بر عهده آن‌ها است. هنگامی که دمای خشک هوای بیرون ۱۰۴ F (۴۰ C) بود، دمای هوای داخلی به ۷۵ F (۲۴ C) می‌رسید که حداکثر آن برای یک ساعت، ۷۷ F (۲۵ C) بود که در هر حال کمتر از دمای مرطوب ۸۰/۶ F (۲۷ C) در طول روز است (به شکل ۳ این فصل مراجعه کنید).

1- Downcomers
2- Down comer
3- Riser

ارزیابی

این سیستم به سرمایه‌گذاری‌های قابل توجهی برای برکه، سازه سقف (بام)، سایبان، و ستون‌ها نیاز دارد تا بارهای گرمایی نسبتاً کوچکی را انتقال دهد. این که آیا صرفه‌جویی بالقوه در توان (برق) موجب تضمین این سرمایه‌گذاری می‌شود خود یک سوال است.

استفاده در فضاهای مسکونی جای تردید دارد. مکان منطقی برای ستون‌های تکی در اتاق‌های با اندازه متوسط، تقریباً در مرکز یا قبل از پنجره‌ها قرار داشته و ترتیبات معمول میلمان و دکوراسیون را به مخاطره می‌اندازد. همچنین ستون‌های آب هیچ هوارسانی و تهویه، رطوبت‌زدایی و فیلترسازی گرد و غباری را انجام نمی‌دهند. به نظر می‌رسد که در این سیستم تغییر سریع به وضعیت گرمایشی غیر ممکن است.

علاوه بر این، عملکرد طولانی مدت باید دارای رسوب گذاری اندکی در سطوح مرطوب باشد. برای جلوگیری از این امر، آزمایشات با ورقه‌های پلاستیکی انجام شده که قسمت بالایی آب برکه را از بخش پایینی آن جدا می‌کند (گردش آب).

سرمایش غیر مستقیم دسیکانت

از دیرباز مهندسان سرمایش تبخیری در رویای افزایش مصنوعی افت دمای مرطوب هستند. توانایی خشک کردن هوا توسط بسیاری از مواد رطوبت‌گیر خشک‌کن (دسیکانت)، موجب ایجاد انگیزه در این رابطه شده و این امیدواری را ایجاد کرده که برای این منظور از گرمای دما-پایین به عنوان منبع انرژی ورودی اصلی (و نه برق گران قیمت) استفاده شود.

احتمالاً اولین کولر آزمایشی توسط Neal Pennington از توسان ساخته شد که مخترع سرمایش غیرمستقیم چرخ مبدل حرارتی بود. او این کولر را در سال ۱۹۵۲ به مولف نشان داد. در این کولر از یک چرخ دسیکانت (خشک‌کن) (به شکل زیر مراجعه کنید). با الیاف آزیست خیسی شده در کلرید کلسیم یا یک محلول مشابه دیگر استفاده می‌شد (به فصل ۲۰ مراجعه کنید).

خشک‌کن‌ها

بیشتر مواد شیمیایی رطوبت‌گیر، بخار آب درون هوا را جذب حجمی^۱ یا جذب سطحی (برجذبش)^۲ می‌کنند. در هر دو نوع، رطوبت در دمای عادی جذب و نگه داشته شده ولی فقط وقتی گرم می‌شود، آن را در دمایی که بسیار پایین‌تر از نقطه جوش است، به صورت بخار آزاد می‌کند.

کلسیم و کلرید لیتیوم و مواد دیگر جاذب^۳ (نم‌گیر) نامیده می‌شوند. پودرهای شل یا جامدات نرم، در هنگامی که خشک می‌شوند، چنین تمایلی را برای آب دارند تا آن را به طور مستقیم از هوا چگالیده و به تدریج تا زمانی، که خود در آن حل شوند، مرطوب‌تر شوند. استفاده از این مواد جاذب دشوار است مگر این که برای خشک کردن آن‌ها، از طریق هوا محلول‌های قوی پاشیده شود. بدین ترتیب رطوبت جذب‌شده محلول را رقیق کرده و سپس آن را گرم می‌کند تا رطوبت را بیرون رانده و سرانجام برای احیای قابلیت جذب آن را خنک می‌کند. این محلول‌ها می‌توانند خورنده باشند؛ البته محلول غلیظ تری اتیلن گلیکول به خوبی عمل می‌کند. حداقل دو شرکت آمریکایی در بازار این سیستم‌های رطوبت‌گیر صنعتی چرخه باز هستند.

استفاده از مواد جاذب سطحی راحت‌تر از مایعات است. مواد معدنی متخلخل مانند سیلیکا ژل، غربال مولکولی^۴ و آلومینا فعال شده، که اساساً به صورت خشک عمل می‌کنند، از این قبیل هستند. سیلیکا ژل، بدون هیچ تغییر قابل مشاهده، به راحتی در حدود ۴۰ درصد وزن خود رطوبت جذب کرده و آن را در زیر لایه‌های میکروسکوپی واقع در سطح وسیع داخلی خود ذخیره می‌کند.

به نظر می‌رسد سیلیکا ژل، که شبیه به سنگ سفید خرد شده است، بدون هیچ خرابی، برای هزاران چرخه جذب سطحی و باز فعال‌سازی گرما قابل استفاده است. این ماده بخار جذب شده را در دمای نسبتاً پایین ۱۴۰-۱۷۰ F (۶۰-۷۷ C) آزاد می‌کند و به شرط وجود عدم تلفات، تنها به ۵ تا ۱۰ درصد گرمای اضافی برای انجام این کار نیاز دارد.

برای خشک کردن هوا، جاذب‌های سطحی معمولاً به دو روش استفاده می‌شوند. به صورت زوج‌های متناوبی از بسترهای متخلخلی که از یکی از آن‌ها هوایی جریان دارد که خشک می‌شود در حالی که بستر دیگر از طریق حرارت یا از طریق چرخ‌های دوار متخلخل کم سرعت (که به مثابه مبدل حرارتی دوار است) احیا می‌شود. در چرخ‌های مذکور، یک بخش بزرگ شامل هوای خشک‌کنی است که به

1- Absorb
2- Adsorb
3- Absorbent
4- Molecular sieve

صورت محوری از آن عبور کرده و بخش دیگر که رطوبت را احاطه کرده آن را به جریان هوای گرم داده تا خارج کند.

چرخه‌های باز و بسته

اغلب جاذب‌های حجمی و سطحی می‌توانند به صورت چرخه باز یا بسته کار کنند. در چرخه‌های باز، هوای بیرون یا اتاقی که تهویه می‌شود به ماشینی وارد می‌شود که در آن فیلتر شده، گرم یا سرد شده و سپس به راحتی به اتاق‌ها رفته تا آن‌ها را تهویه کند. سیال کاری سیالی است که بتواند پردازش شده و هرگز محدود نشود.

چرخه‌های بسته شبیه سیستم‌های برودتی هستند: همان سیال مبرد به طور دائمی در ماشین‌ها موجود بوده، و هرگز با موادی که سرد می‌شوند تماس ندارد. چه این سیال آب باشد یا حتی هوا، سیال کاری از چیزی که درون آن و اتاق‌ها گردش می‌کند جدا می‌ماند.

در کشور سابق شوروی، از طریق چرخه‌های جاذب مایع با استفاده از گرمای خورشیدی، با حذف رطوبت جذب شده، از هوا رطوبت‌زدایی می‌شد. آن‌ها از این روش، با استفاده از آب به عنوان سیال مبرد، در قالب هر دو چرخه باز و بسته، در آزمایشات سرمایه‌ش خورشیدی نیز استفاده کردند. به جز منبع گرما، مورد دوم شبیه چرخه جذبی تبرید استاندارد است. این سیستم به سرمایه‌گذاری معادل برای تجهیزات نیاز داشته و در نتیجه بهره اقتصادی کمی را به همراه دارد. بدون توجه به جزئیات، امروزه چرخه‌های باز صرفه‌جویی بیشتری را ارائه می‌دهند، بنا بر این در اینجا بیشتر بحث به آن‌ها مربوط می‌شود.

چرخه‌های خشک‌کن (دسیکانت)

چندین شرکت، چرخه‌های دوار رطوبت‌گیر با غربال مولکولی، کلرید لیتیوم، سیلیکا ژل، یا مواد پرکننده مشابه می‌سازند. این چرخه‌ها معمولاً ۳ تا ۱۰ فوت (یک تا ۳ متر) قطر و تا ۱۲ اینچ (۳۰/۵ سانتی‌متر) ضخامت داشته، و بیشتر چرخه‌ها حاوی دانه‌های خشک‌کنی هستند که دانه‌بندی شده و مقاومت بزرگی در برابر جریان هوا نشان می‌دهند. امروزه این چرخه‌ها باریک‌تر بوده، برخی حاوی مواد پرکن کاغذ مانند چین‌داری هستند که از کلرید لیتیوم آغشته شده و برخی دیگر دارای سیلیکا ژل چسبیده شده به نوارهای پلاستیکی هستند که به صورت مارپیچی بر روی جداکننده‌هایی پیچیده می‌شوند تا یک مسیر جریان محوری را برای هوا ایجاد کرده یا این که دانه‌های سیلیکا ژل به صفحه چسبانده می‌شوند. در یک چرخ دیگر، نوار آلومینیومی چین‌دار پیچیده شده به منظور ایجاد پوششی از آلومینا، به طور

شیمیایی عمل‌آوری شده و تا قطر ۱۴ فوت (۴/۳ متر) موجود است (به شکل ۴ این فصل مراجعه کنید).

از نظر مکانیکی، نظیر یک مبدل حرارتی دوآر، این چرخ‌ها درون کانالی مستقر شده و می‌چرخند و دارای نشتی مشابه هستند. این چرخ‌ها، اغلب توسط سازنده یکسانی ساخته می‌شوند.

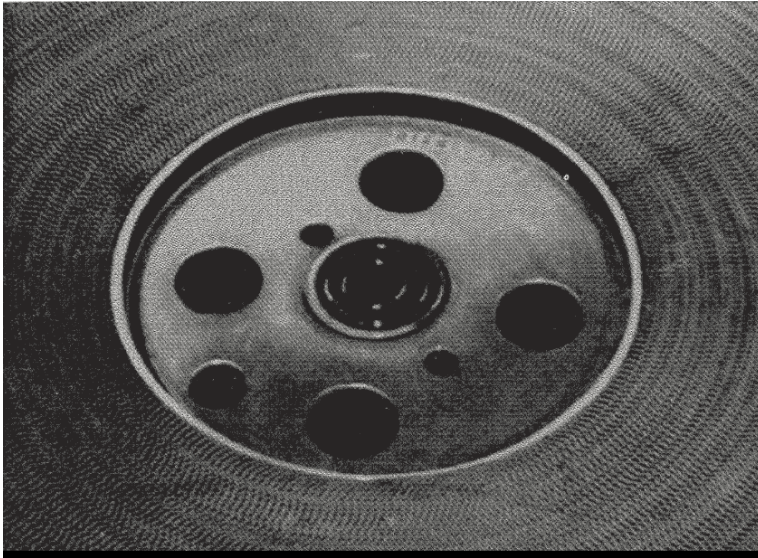
چرخ‌های دسیکانت دارای فعالیت پیوسته‌ای بوده و عاری از کانال‌کشی پیچیده و نصب دمپر مشابه با سیستم‌های از نوع بستر بوده و در نتیجه، به ویژه در جایی که گرمای کم‌هزینه می‌تواند آن‌ها را احیا کند، به طور گسترده‌ای برای خشک کردن هوا و گازهای صنعتی استفاده می‌شوند. آن‌ها توان کمی مصرف کرده و می‌توانند برای چرخش به صورت عمودی یا افقی خریداری شوند (به شکل ۵ این فصل مراجعه کنید).

نیازی به حرکت ماده خشک‌کن در چرخ‌ها نیست. حداقل یک شرکت گردونه‌های دوآر سیلیکا ژل می‌سازد که احتمالاً در فضا، مقاومت استاتیک، و نشتی صرفه‌جویی می‌کند. یک شرکت دیگر، رطوبت-گیر چهار بستره‌ای را به صورت بسته‌بندی شده می‌سازد که در آن به طور همزمان، دو بستر هوا را خشک می‌کنند، سومی در حال احیا است و چهارمی در بعد از احیا، به منظور افزایش قابلیت جذب، در حال خنک شدن است.

اگر چه این چرخ‌ها برای خشک کردن ساخته می‌شوند ولی چرخ‌های دسیکانت برای سرمایش نیز به آسانی استفاده می‌شوند. برای اشباع‌سازی یا خشک کردن کامل ماده خشک‌کن در هر چرخه به هیچ تلاشی نیاز نیست. در عوض، عملیات در محدوده میانی و در شرایطی است که واکنش‌ها سریع‌تر هستند و دماهای احیاکنندگی پایین کفایت می‌کنند. سرعت چرخ طوری تنظیم می‌شود تا تقریباً دفع آب حداکثر شود.

استفاده در سرمایش تبخیری

از آنجا که چرخ‌های سیلیکا ژل با کم‌ترین گرما و دما‌بازایی و احیا می‌شوند، به نظر می‌رسد که برای سرمایش تبخیری غیر مستقیم بهتر هستند. در اینجا بیشتر سیستم‌ها ابتدا هوا را خشک می‌کنند، آن را به طور محسوس خنک می‌کنند، و سپس آن را از کولرهای تبخیری مستقیم عبور می‌دهند. این باعث می‌شود که دمای هوای شسته شده و رطوبت، پایین‌تر از دیگر سرمایش‌های مستقیم باشد.



شکل ۴- یک مبدل حرارتی دوار با نام تجاری Flakt که برای رطوبت‌گیری نیز قابل استفاده است که در آن یاتاقان‌های روانکاری دائمی مشاهده می‌شوند. بخش فعال، متشکل از مارپیچ‌های متناوبی از نوارهای آلومینیومی چین‌دار و مسطح بوده که گذرگاه‌های مثلثی متعدد با مقاومت کمی را در برابر هوا ایجاد می‌کند. این مبدل‌ها تا قطر تا ۱۴ فوت (۴/۲۷ متر) ساخته شده و اغلب برای تبادل و بازیابی در صنعت استفاده می‌شوند. البته مواد شیمیایی ساده به صورت ماده خشک‌کن آلومینا بر روی نوارها قرار داشته تا رطوبت را مبادله کنند.

این سیستم‌هایی اغلب از دو نوع هستند: چرخه‌های تهویه (هوارسانی) یا چرخه گردش مجدد که چرخه اول در جاهایی توصیه می‌شود که لازم است رطوبت، بو، و گرد و خاک از فضاهای مورد سرمایه‌ش دفع شود و چرخه دوم در جایی توصیه می‌شود که نفوذ هوا از درزها کافی نیست.

فرآیند خشک کردن

در هر صورت، وقتی که هوا در تماس با دسیکانت خشک می‌شود، مقدار زیادی از رطوبت آن جذب سطحی شده و از گاز به مایع تغییر کرده و به صورت یک لایه مولکولی روی تمام سطوح پنهان قرار می‌گیرد. وقتی که آب از بخار به مایع تغییر می‌شود گرمای نهان تبخیر آن به صورت آدیاباتیک به گرمای محسوس تبدیل شده، هوای خشک و ژل را به طور قابل توجهی گرم می‌کند.

در سیستم‌های خشک‌کن با جاذب مایع، محلول‌های قوی می‌توانند بر روی سطح جریان داشته و توسط سطح حاوی آب خنک شده و در عین حال بخار را جذب می‌کنند. این امر میزان دریافت دمای هوا را حداقل می‌سازد، در نتیجه آن‌ها معمولاً هوای خشک و گرمی را تحویل می‌دهند که برای

سرمایش مناسب نیست. در صورت عبور از کولرهای مستقیم، این هوا به شرایط پیش از خشک شدن باز می‌گردد که برای سرمایش بهتر از قبل نیست.

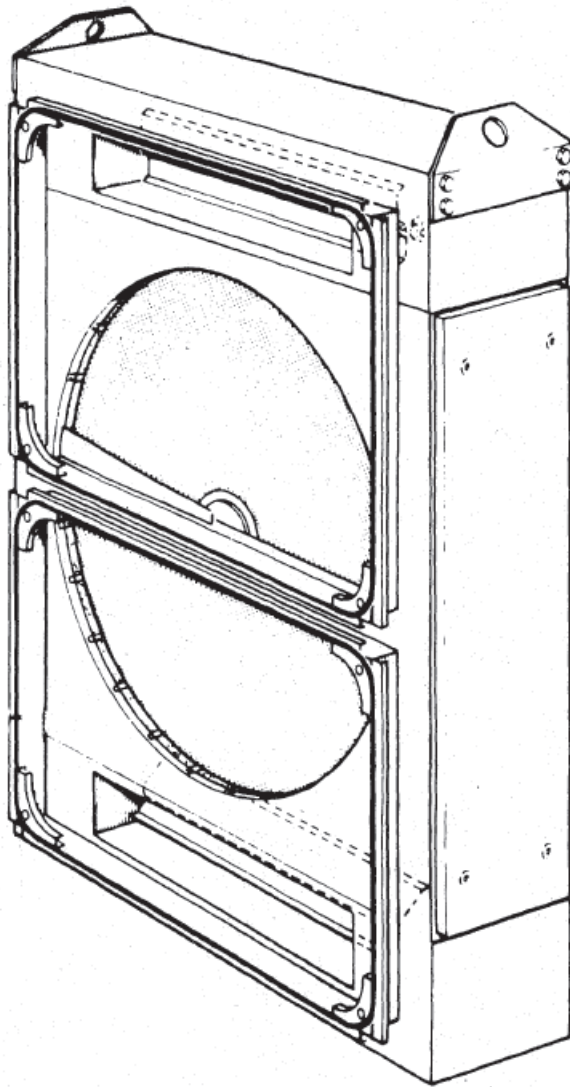
در عوض، اگر این هوا در مبدل‌های حرارتی هوا به هوا، چرخ‌های تبادل گرما، بسترهای سنگی، یا در مراحل تبخیری غیر مستقیم صفحه‌ای یا لوله‌ای به صورت خشک خنک شود، دارای افت دمای مرطوب بسیار نادری می‌شود. در حال حاضر، کولرهای مستقیم تبخیری می‌توانند آن را به صورت هوای شسته شده‌ای درآورند که معادل با هوای تامین شده توسط سیستم برودتی است.

بازیابی (احیا)

متأسفانه این تنها نیمی از فرآیند است که ارزان‌تر هم هست. به طور خاص، دانه‌های سیلیکا ژل باید در هر چرخه با عبور هوای گرم کافی از اطراف هر یک از آن‌ها احیا شده تا رطوبت جذب شده را از خود دفع کنند. این امر مستلزم گرمایی بیشتر از گرمای نهان موجود است که دلیل آن بازگشت-ناپذیری در طی کنش ماده خشک‌کن (دسیکانت) به علاوه تلفات واقعی، هوای کنارگذر شده از دانه‌های سیلیکا ژل، طوقه و پیشانی چرخ و اتلاف حرارتی از سازه چرخ است.

هوای گرم فرآیند احیا، معمولاً در ابتدا در چرخ‌های انتقال حرارتی گرم می‌شود که خود به صورت زیر، از طریق سرمایش هوای اولیه به تازگی خشک شده، گرم می‌شود و پس از آن با گرمای اتلافی ارزان صنعتی، مشعل گازی یا گردآورنده خورشیدی گرم می‌شود. بعد از خشک کردن دسیکانت، این هوا رطوبت را به بیرون انتقال می‌دهد.

سپس چرخ‌ها، سیلیکا ژل را به جریان هوایی که در حال خشک شدن است باز می‌گردانند. ژل که هنوز در اثر فرآیند احیا گرم است، نمی‌تواند به اندازه زمانی که سرد است رطوبت را جذب سطحی کند، اما به خاطر اثر متقابل فشار بخار، هنوز هم کار کرده و هوا را خشک می‌کند. این ماده همچنین در اثر رسانش از ژل و جرم چرخ، که همانگونه که قبلاً گفته شد، گرم می‌شود.



شکل ۵- یک مبدل حرارتی دوار Flakt یا چرخ دسیکانت آماده برای نصب. به تقسیم کننده افقی مرکزی و قاب‌های فلنج بالا و پایین آن، که موجب اتصال به کانال جداگانه می‌شود، توجه کنید. یک جریان هوا از بالا و دیگری از پایین، در جهت‌های مخالف، عبور می‌کنند. با استفاده از آب‌بندهایی در پشت تقسیم کننده و در طوقه چرخ و با مکش هوا و نه دمش آن توسط فن‌های مجزا، میزان اختلاط حداقل می‌شود. این واحدها در هر موقعیت نصب شده و زاویه تقسیم کننده‌ها می‌تواند متفاوت باشد.

سرمایش هوای داغ و خشک

این هوا، در مسیر ورود به کولرهای تبخیری مستقیم و تبدیل به هوای شسته شده ما فوق خنک، ابتدا در چرخ‌های انتقال حرارت، توصیف شده خنک می‌شود. آن‌ها هوا را از چرخ‌های دسیکانت به صورت گرم دریافت کرده و گرمای آن را به هوای احتمالاً سردتری انتقال می‌دهند که هنگامی که بیشتر حرارت داده می‌شود، همانطور که در بالا ذکر شد، دسیکانت را احیا می‌کنند. در همین حال، هوای خشک شده برای ورود به مرحله مستقیم و تبدیل به هوای تغذیه بسیار عالی، به اندازه کافی خنک است.

چرخه سرمایش اصلی

به دو طریق چرخه تهویه (هوارسانی) از چرخه گردش مجدد متفاوت است؛ نخست این که هوای تامین شده آن برای سرمایش اتاق به صورت هوای تازه بیرون است و دوم، هوای استفاده شده‌ای که لزوماً از اتاق‌ها تخلیه می‌شود در ابتدا برای سرمایش چرخ‌های تبادل حرارت استفاده شده و سپس گرم می‌شود و سپس توسط گرمای اتلافی یا سایر حرارت‌ها گرم شده تا این که بتواند قبل از تخلیه به بیرون، دسیکانت را احیا کند.

در چرخه گردش مجدد، هوای تخلیه استفاده شده از اتاق‌ها ابتدا توسط چرخ دسیکانت خشک شده و سپس به وسیله چرخ‌های تبادل حرارت خنک شده و در نهایت از طریق کولرهای مستقیم به داخل برمی‌گردد. این به معنای سرمایش مشابه در سیستم برودتی است که در آن هوای برگشتی توسط کویل، سرد و رطوبت‌زدایی شده و دوباره به صورت هوای تغذیه گردش می‌کند.

همزمان، هوای تازه خارجی در کولر مستقیم خنک شده و سپس چرخ‌های تبادل حرارت فوق را خنک کرده و خود مجدداً گرم می‌شود. آنگاه، یک حرارت ارزان دیگر آن را بیشتر گرم می‌کند تا خشک‌کننده را احیا کرده و تخلیه شود. همانطور که اشاره شد، این سیستم زمانی عمل می‌کند که بارهای نهان داخلی و آلاینده محدود می‌شوند.

اتصال خورشیدی

دمای احیای پایین مورد نیاز توسط سیلیکا ژل T استفاده از گرمای خورشیدی را برای چنین سیستم‌هایی در طول ساعت‌های آفتابی، به نظر جذاب می‌سازد. البته، برای ساعت‌ها و روزهای سایه‌دار، باید از قبل در بسترهای سنگی، مقدار کافی گرمای خورشیدی جمع‌آوری و ذخیره شود، مگر این که گرمای کمکی ارزانی جایگزین شود. در غیر این صورت به گردآورنده خورشیدی اضافی و

ظرفیت ذخیره‌سازی حرارت نیاز است. ممکن است رسیدن به برخی از دماهای ذخیره‌سازی، به جای استفاده از گردآورنده‌های تخت صفحه‌ای ارزان قیمت، مستلزم استفاده از گردآورنده‌های خورشیدی از نوع متمرکز کننده باشد (به شکل ۶ مراجعه کنید).

در اینجا یک مشکل منطقی وجود دارد. برای کارآمدترین گرمای احیا، به نظر گردآورنده خورشیدی از نوع هوایی مورد نیاز بوده که معمولاً بر روی بام نصب می‌شود. اگر تجهیزات سرمایه‌ش و بسترهای ذخیره‌سازی به طور معمول در زیرزمین یا طبقه همکف نصب شوند، در هر دو چرخه تهویه و گردش مجدد، برای انتقال هوای بازیاب، از چرخ‌های تبادل حرارت تا گردآورنده و برگشت آن به پایین تا چرخ دسیکانت، به کانال‌های طویل و حجیمی نیاز است. این مشکل در جایی پیچیده است که بسترهای ذخیره‌سازی در فضای خارجی قرار دارند.

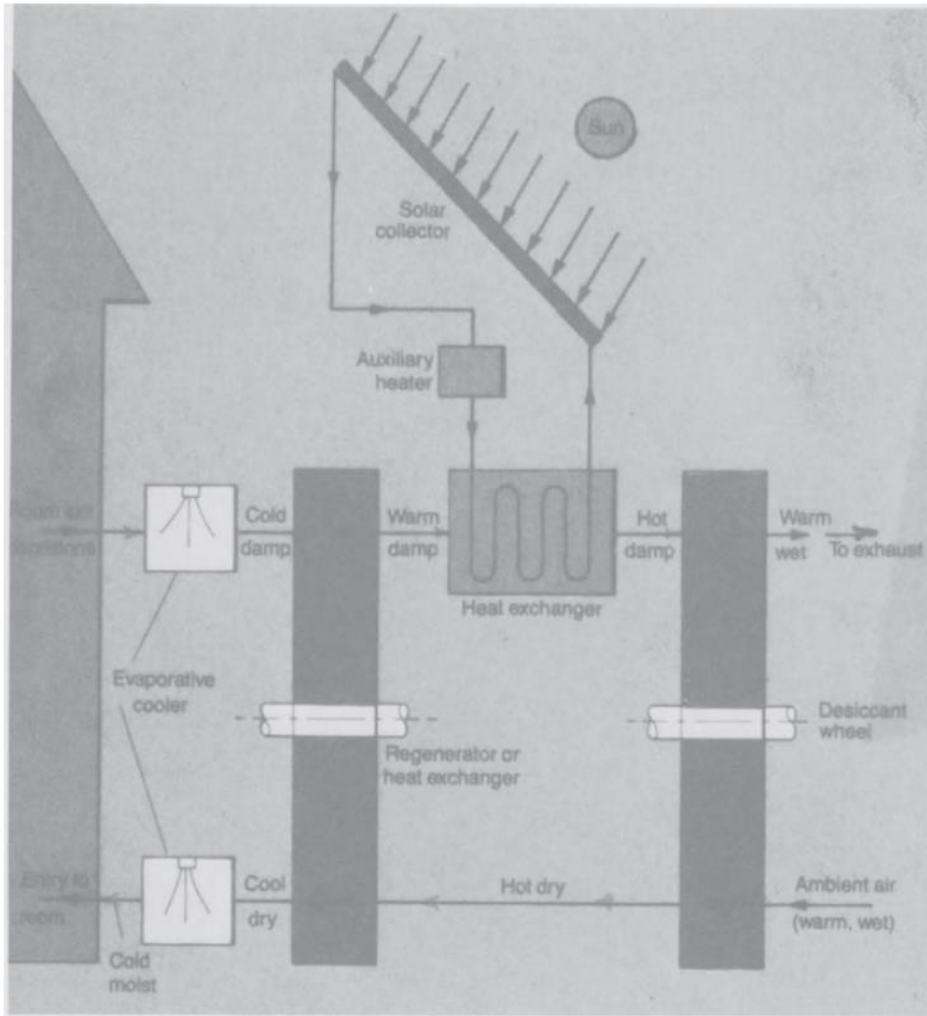
یک راه‌حل، استفاده از گردآورنده‌های خورشیدی متمرکز، از نوع مایع به همراه لوله‌کشی، پمپ و غیره است تا کویل‌های پره‌دار گرمایشی بین چرخ‌ها تغذیه شود. این کار هزینه کمتری دارد اما مستلزم یک مبدل حرارتی دوم، هوای احیای نسبتاً خنک‌تر و پیچیدگی بیشتر است (به شکل ۷ مراجعه کنید).

به طور خلاصه، هزینه سرمایه‌گذاری مربوط به سرمایه‌ش غیرمستقیم دسیکانت بالا است مگر این که از گرمای اتلافی استفاده شود. این گرما بیشتر در نیروگاه‌ها و صنعت موجود است تا جاهای دیگر. تا به امروز، برای انرژی خورشیدی جایگزینی وجود ندارد.

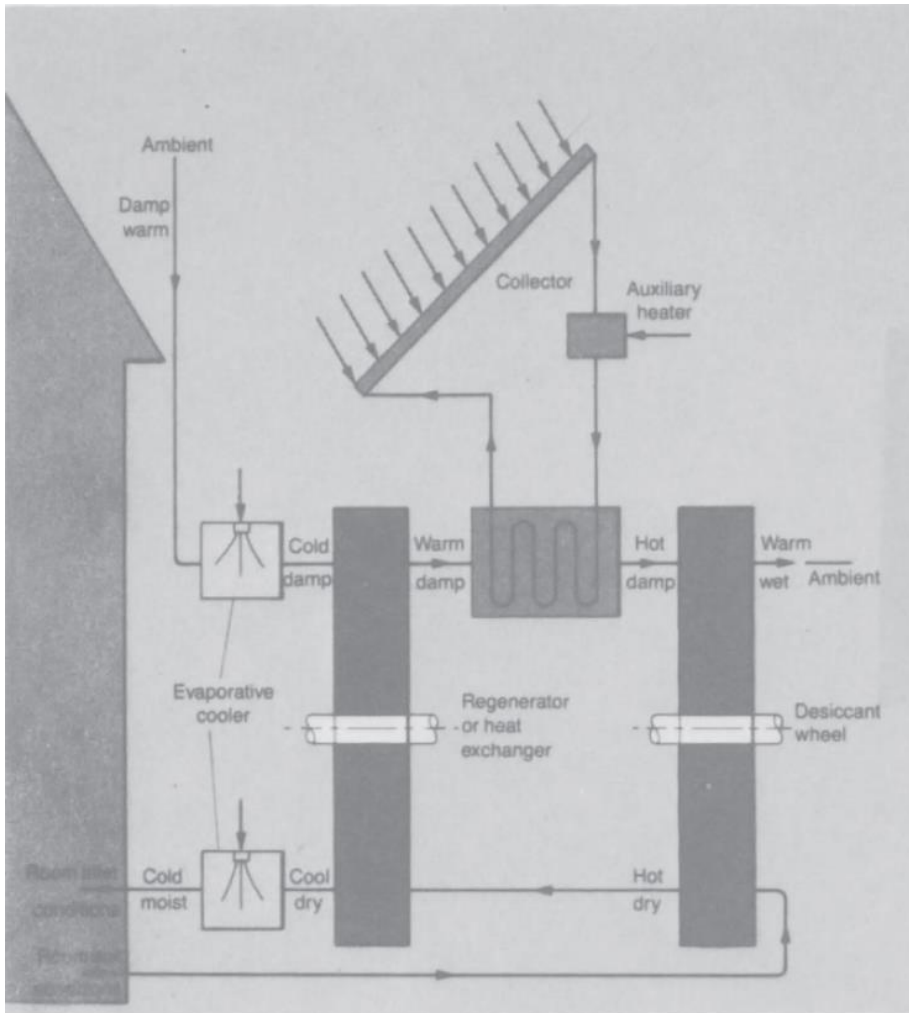
عملکرد

به طور کلی، در مطالعات شبیه‌سازی، چرخه‌های دسیکانت/خورشیدی، تنها ۳۰ تا ۸۰ درصد از انرژی خود را برای سرمایه‌ش مصرف می‌کنند که بسته به رطوبت بیرونی، ضریب عملکرد (COP) ۰/۳ تا ۰/۸ را ایجاد می‌کند. در یک سیستم دسیکانت احیا کننده خورشیدی جایگزین، به نام چرخه Dunkle، که از دو چرخ انتقال حرارت برای خنک کردن هوای خشک دسیکانت استفاده می‌شود، احتمالاً عملکرد ۵۰ درصد بهتر است.

برای این سه چرخه، شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای برای ماه ژوئیه در اقلیم‌های زیر صورت گرفته‌است: میامی داغ و مرطوب، میسوری کلمبیای گرم و مرطوب، فورت ورث گرم و خشک و فونیکس داغ و خشک. فرض بر این بود که ذخیره‌سازی حرارت خورشیدی با بستر سنگی صورت گرفته‌است.

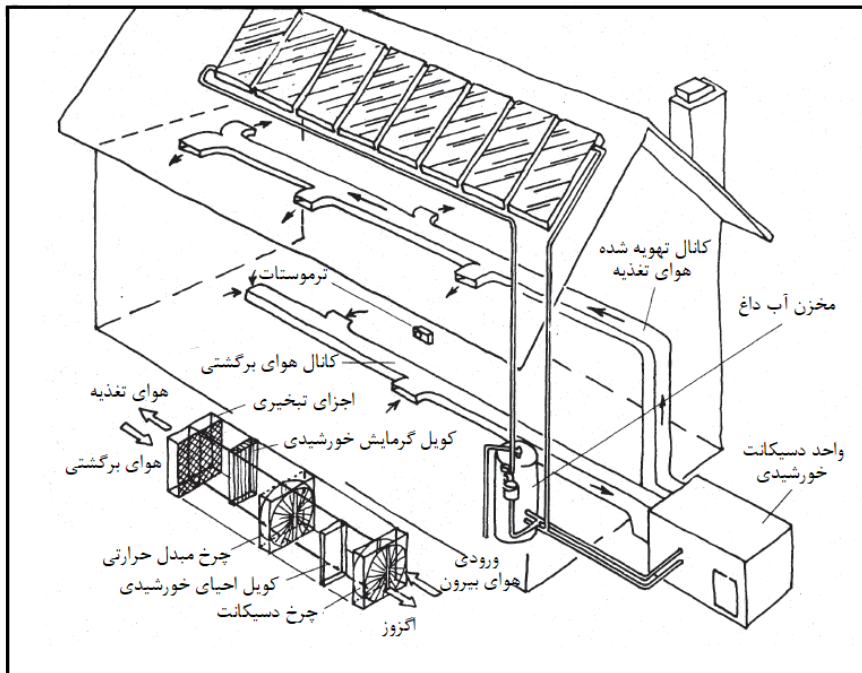


شکل ۶- سرمایه‌ش غیر مستقیم دسیکانت توسط چرخه تهویه، در جایی که اتاق‌ها مستلزم دفع ویژه بخار، دود، گرد و غبار یا آلاینده‌های مشابه هستند. در اینجا هوای تازه خارجی (سمت راست-پایین)، در چرخ دسیکانت (سمت راست) خشک (و گرم) شده، سپس در چرخ تبادل حرارت (مرکز) خنک می‌شود. در حال حاضر هوا خنک و فوق خشک است و به صورت آدیاباتیک خنک شده (سمت چپ-پایین) و به هوای شسته شده خیلی خنک تبدیل می‌شود و برای سرمایه‌ش وارد اتاق‌ها می‌شود. گرمای اتاق، رطوبت نسبی هوا را پایین می‌آورد و به عنوان هوای برگشتی (بالا-چپ) به صورت آدیاباتیک مجدداً خنک شده تا بتواند چرخ تبادل حرارت (مرکز- بالا) را برای چرخه بعدی خنک کند. این امر هوا را گرم کرده و سپس توسط یک مبدل حرارتی با گرمای خورشیدی (مرکز- سمت راست- بالا) باز هم گرم شده به طوری که می‌تواند از چرخ دسیکانت عبور کرده و آن را برای چرخه بعدی خود احیا کند. هوای استفاده شده از طریق درها خارج شده و این روند ادامه می‌یابد.



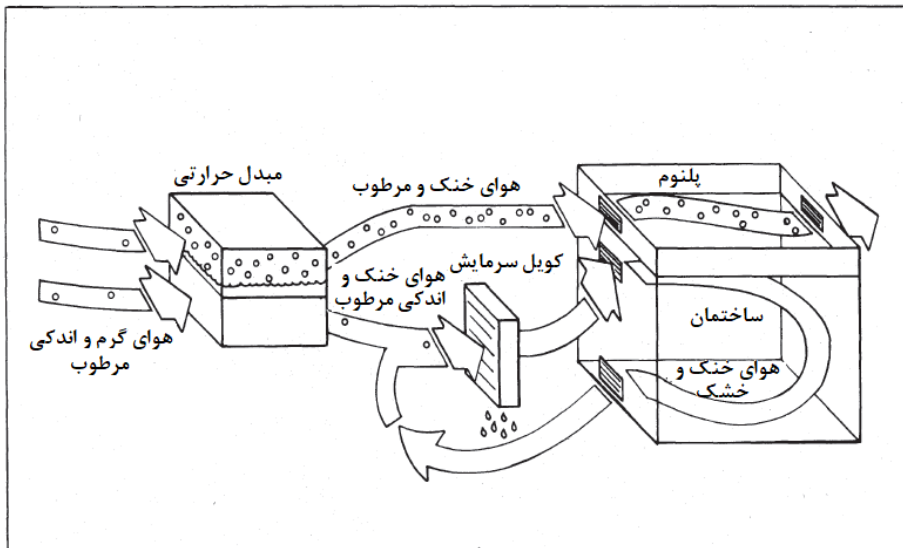
شکل ۷- سرمایه‌های غیر مستقیم دسیکانت توسط چرخه گردش مجدد، در جایی که اتاق‌های مورد سرمایه‌های به جز نفوذ از درزها به تهویه فراتری نیاز ندارند. در اینجا، هوای برگشتی اتاق (سمت چپ) در چرخ دسیکانت (سمت راست- پایین) مجدداً خشک شده و در چرخ تبادل حرارت (مرکز) مجدداً خنک می‌شود. حال این هوای خنک و خیلی خشک، از کولر مستقیم (سمت چپ-پایین) عبور کرده و به هوای شسته شده فوق خنک تبدیل شده و برای سرمایه‌های وارد اتاق‌ها می‌شود. این فرآیند مشابه سرمایه‌های برودتی بدون هوای جبرانی است و از چرخه تهویه اقتصادی‌تر است. در همین حال (بالا) هوای آزاد به طور آدیاباتیک خنک شده (چپ) تا بتواند چرخ تبادل حرارت (چپ-مرکز) را خنک کند، سپس این هوا به میزان بیشتری توسط حرارت خورشیدی (راست-مرکز) گرم شده تا قبل از تخلیه چرخ دسیکانت (راست) را احیا کند.

در خانه‌های فرضی، چرخه تهویه در میامی به تنهایی ۸۰ درصد سرمایش را از طریق گرمای خورشیدی، با ضریب عملکرد ۰/۹۷ انجام می‌داد. این مقدار برای فونیکس ۷۳ درصد با ضریب عملکرد ۱/۳ بود. چرخه دانکل در فونیکس دارای COP ۱/۱۶ بود. نتایج کلمبیا و فورت ورت کلاً ما بین دیگر نقاط بود. چرخه گردش مجدد در همه جا کم‌ترین بود. از نظر اقتصادی همه آن‌ها بسیار پایین‌تر از سیستم‌های ساده سرمایش غیر مستقیم در شرایط آب و هوایی برابر بودند. برای موفقیت در سرمایش با احیا خورشیدی، به نظر می‌رسد که عملکرد دسیکانت باید موثرتر باشد؛ البته، سیستم‌های ترکیبی گرمایش/ سرمایش پیشنهاد می‌شوند.



شکل ۸- یک گرمایش و سرمایش ترکیبی خورشیدی با استفاده از دسیکانت و چرخ‌های مبدل حرارتی با نام تجاری Solar-King. مایع داغ از گردآورنده خورشیدی (بالا) از طریق یک مخزن آب داغ (آب گرم کن) پمپ شده و جزئیات واحد گرمایش-سرمایش دسیکانت (راست) در سمت چپ-پایین نشان داده شده است. این واحد در امتداد طولی تقسیم‌بندی شده، به طوری که دو جریان هوا در جهت‌های مخالف عبور کرده و یکی از آن‌ها خنک شده و دیگر گرما و رطوبت را جذب کرده و به بیرون انتقال می‌دهد. فرآیند سرمایش در انتهای راست-پایین واحد شروع می‌شود که هوای بیرون مکیده شده و به صورت جزئی توسط چرخ دسیکانت رطوبت‌زدایی می‌شود. گرمای جانبی دسیکانت، در چرخ مبدل حرارتی دفع می‌شود. سپس این هوا از یک کویل گرمایش خورشیدی عبور می‌کند که در تابستان غیرفعال است. در نهایت، این هوا که فوق خشک و نزدیک دمای اصلی خود است، در پدهای واسطه صلب به صورت آدیاباتیک خنک شده و برای سرمایش اتاق‌ها، واحد را به عنوان هوای تغذیه (شسته شده) ترک می‌کند. به طور همزمان، هوای برگشتی سرد و مرطوب از انتهای

دیگر دستگاه مکیده می‌شود. این هوا ابتدا نیمی از چرخ مبدل حرارتی را سرد کرده و گرمای گرفته شده از جریان هوای دیگر را دفع می‌کند. آن هوا این یکی را گرم می‌کند؛ سپس هوای دوم عبور کرده و توسط کویل گرمایی خورشیدی فعال به مقدار بیشتری گرم می‌شود. در نهایت، این هوا عبور کرده و نیمی از چرخ دسیکانت را احیا کرده و به صورت گرم و مرطوب به بیرون تخلیه می‌شود. کل فرآیند یا هوای شسته شده سردتری را نسبت به سرمایه‌ش مستقیم ساده داده، یا این که در اقلیم‌های خیلی مرطوب به خوبی و به طور یکسان کار می‌کند.



شکل ۹- سیستم سرمایه‌ش یک ساختمان تجاری یک طبقه با حداقل هزینه برق. این سیستم با ترکیب سرمایه‌ش غیر مستقیم و مستقیم با سرمایه‌ش برودتی، اوج بار تابستانی را ۱۱ تا ۱۶ درصد کاهش می‌دهد. در سمت چپ، مبدل حرارتی مرحله مستقیم قرار دارد. هوای اولیه خنک شده توسط این مبدل با هوای برگشتی سرد و خشک ساختمان مخلوط شده و وارد کویل سرمایه‌ش یک سیستم برودتی (مرکز) می‌شود. این امر موجب سرمایه‌ش و رطوبت‌زدایی بیشتر شده و آن را به عنوان هوای تغذیه، برای سرمایه‌ش ساختمان تحویل می‌دهد. در عین حال، هوای سرد و مرطوب ثانویه که مبدل حرارتی غیر مستقیم را ترک می‌کند از طریق یک محفظه (پلنوم) کم‌عمق واقع در سقف کانال کشی می‌شود. در آنجا گرمای پشت بام و چراغ‌های سقفی جذب شده که به ویژه برای ساختمان‌های اداری بسیار عالی است و پس از سرمایه‌ش جزئی به طریق تابش، تخلیه می‌شود.

آینده

در آزمایشات انجام شده در موسسه فناوری ایلی نئی، یک رطوبت‌زدای دسیکانت با سرمایه‌ش متقاطع بدون قطعات متحرک ساخته شد که سیلیکا ژل آن در طی فرآیند جذب سطحی خنک می‌شد. این امر موجب افزایش جذب سطحی بخار و کاهش دمای هوای خشک شده گشته و در نتیجه نوید عملکرد بهتری را می‌دهد.

برای انجام سرمایه‌ش پیوسته، دو رطوبت‌زدا، دو چرخ مبدل حرارتی و و سه دستگاه کولر تبخیری مستقیم به همراه فن به هم کانال‌کشی می‌شوند.

در عین حال، به نظر می‌رسد که توسعه بیشتری با سیستم‌های جاذب مایع امکان‌پذیر است. مزایای روشن این کار عبارتند از: دمای احیا پایین‌تر، سازگاری آسان‌تر با ساختمان‌های بزرگ، بازیابی (احیا) مستقیم در گردآورنده خورشیدی، تجهیزات بسیار کوچک‌تر، هزینه‌های برق کمتر فن، و ذخیره‌سازی بسیار ساده‌تر گرما در قالب انرژی شیمیایی در مخازن ساده بدون عایق.

در بازار

یک شرکت تگزاسی کولرهای غیر مستقیم با چرخه تهویه و احیای خورشیدی را به بازار عرضه کرده‌است که گرمای زمستانی و آب‌گرم نیز تولید می‌کند. به ویژه، چرخ‌های دسیکانت، هوای اولیه ورودی را خشک و گرم می‌کند، سپس چرخ‌های تبادل حرارت آن را خنک می‌کنند و گرمای آن را در فضای بیرون پراکنده می‌کنند. حال این هوا از مراحل تبخیری مستقیم عبور کرده تا آن را برای استفاده خنک می‌سازد (به شکل ۸ این فصل مراجعه کنید).

در همین حال، گرمای جذب‌شده توسط هشت گردآورنده تخت خورشیدی از نوع مایع واقع بر روی بام جذب شده، که هم آب گرم مصرفی را تولید کرده و هم در کویل‌ها گردش کرده و هوا را به منظور احیای چرخ دسیکانت گرم می‌کند. هیچ ذخیره خورشیدی ارائه نمی‌شود. هنگامی که لزومی برای سرمایه‌ش نیست، چرخ‌های دسیکانت متوقف شده و گرمای خورشیدی برای تولید آب گرم و گرمایش فضا استفاده می‌شود.

این سیستم‌ها، دارای گردآورنده‌های خورشیدی و مخازن آب‌گرم ۲۰ gal (۷۵/۷ l) بوده که درون بدنه‌های مکعب مستطیلی به اندازه دستگاه‌های چگالشی ۳ تنی هستند. بنا بر گزارشات، این سیستم هوای ۵۸ F (۱۴/۴ C) را برای سرمایه‌ش ۱۸۰۰ فوت مربع (۱۶۷/۲ متر مربع) فضا، یا Btuh ۷۵,۰۰۰ (۱۳۱۸/۸ J/min) گرمایش به علاوه تا ۹۰ درصد نیازهای آب‌گرم، بسته به میزان استفاده و آب و هوا، تامین می‌کند. برای روزهای ابری، سازنده بخاری‌های معمولی را به عنوان پشتیبان توصیه می‌کند.

اعتبارات مالیاتی فدرال در مورد اجزای خورشیدی، هزینه‌های کلی را از سال ۱۹۸۵ کاهش داده‌است. ممکن است برخی یارانه‌های دولتی ادامه یابند. تولیدکننده این سیستم تخمین می‌زند که هزینه‌های سرمایه‌ش ۴۰ درصد یا کم‌تر از سرمایه‌ش برودتی است که در کنار آن گرمایش رایگان زمستانی و آب داغ در طول سال، مانند یک پاداش است (به شکل ۹ این فصل مراجعه کنید).

پرسش‌های دوره‌ای

- ۱- تفاوت بین بستر سنگی، سرمایه‌ش غیر مستقیم دسیکانت و غیر فعال را شرح دهید. چرا آن‌ها در اینجا تجربی نامیده می‌شوند؟ توضیح دهید.
- ۲- سرمایه‌ش غیر مستقیم با بستر سنگی عمدتاً بر اساس چه جنبه از گرمایش خورشیدی به دست می‌آید؟ آیا می‌توان از یک بستر سنگی برای هر دو استفاده کرد؟ توضیح دهید. چرا درزبندی، عایق کاری و وجود حفره‌ها در بستر مهم است؟
- ۳- چرا سنگ‌های گرد هم اندازه مطلوب هستند؟ اندازه‌های مطلوب چیستند؟ چرا باید تمیز و خشک باشند؟ گرمای ویژه سنگ چیست؟ چرا مهم است؟ آیا اتلاف گرما از بسترهای خوش ساخت بزرگ است؟ افت فشار استاتیک هوا چه؟
- ۴- در خانه آزمایشی دانشگاه ایالتی کلرادو، چه مقدار سنگ در هر فوت مکعب (متر مکعب) از خانه، برای عملیات موفق، بسیار کم به نظر می‌رسید؟ چه مقداری به نظر لازم بود؟ چه ساعتی برای سرمایه‌ش بستر مناسب به نظر می‌رسید؟ چه سرعت هوای ورودی بستر و چه زمان سرمایه‌ش بهینه است؟ چگونه می‌توان از برق ساعات ارزان استفاده کرد؟ توضیح دهید که شارژر کند چگونه می‌تواند حرارت ذخیره‌شده را افزایش دهد.
- ۵- چگونه از دوره‌های زمانی تهویه هوای بیرونی خالص برای صرفه‌جویی در سرمایه‌ش از بستر استفاده می‌شود؟ در بیشتر روزها، در چه زمانی سرمایه‌ش از بسترها آغاز می‌شود؟ چگونه هوای جبرانی تهویه موجب تسریع در تخلیه سرمایه‌ش از بستر سنگی می‌شود؟ چه زمانی از سرمایه‌ش مستقیم استفاده می‌کنید؟
- ۶- نسبت تقریبی سرمایه‌ش انجام شده به مصارف انرژی در طول فصل چیست؟ توضیح دهید. آیا یک دستاورد مثبت نسبت به دیگر سرمایه‌ش‌ها وجود دارد؟
- ۷- چرا سیستم‌های دو مرحله‌ای آینده‌دار محسوب می‌شوند؟ آیا می‌توان اقتصاد تمام فصل که در پرسش بالا مطرح شد را بهبود بخشید؟ توضیح دهید.
- ۸- در سیستم بستر سنگی دو مرحله‌ای دانشگاه آریزونا، توضیح دهید که چگونه دو کولر مستقیم برای روز و شب استفاده می‌شوند. چه بهره‌ای حاصل می‌شود؟ برای یک چرخه ۱۲ ساعته، آیا اندازه سنگ مهم است؟ توضیح دهید.
- ۹- سیستم بستر سنگی نیمه پیوسته دانشگاه ایالتی آریزونا می‌تواند به اندازه کافی فشرده (جمع و جور) بوده تا در کارخانه ساخته شود. چه ویژگی‌هایی آن را برای یک بار سرمایه‌ش مشخص،

جمع و جور می‌سازد؟ چرا این سیستم نمی‌تواند از مرحله دوم تبخیری مستقیم استفاده کند؟ از مرحله دوم بروی چو؟ توضیح دهید.

۱۰- همتای استرالیایی سیستم بالا نیز جریان هوای سرد نیمه پیوسته‌ای می‌دهد. توضیح دهید که چگونه بسترها به ترتیب عمل می‌کنند. ضعف آن چیست؟ مزیت بزرگ آن چیست؟

۱۱- سرمایش غیر مستقیم غیر فعال را توضیح دهید. چرا برکه‌های سایه‌دار سقفی به ندرت به دمای هوا می‌رسند؟ چرا آن‌ها در شب‌های صاف به طور قابل توجهی خنک می‌شوند؟ مشکل کلی ایجاد سایه بر روی برکه، نرخ گردش و غیره را شرح دهید.

۱۲- ستون آب چگونه گرمای اتاق را جذب می‌کند؟ آیا اثرات مفید ارزش هزینه‌های احتمالی را دارند؟ چیدمان اتاق چطور تحت تاثیر قرار می‌گیرند؟

۱۳- تفاوت بین مواد جاذب سطحی، جاذب حجمی و خشک‌کن (دسیکانت) را شرح دهید. دو ماده جامد و یک ماده مایع جاذب حجمی را نام ببرید. سه ماده جاذب سطحی را نام ببرید. استفاده از کدام کلاس معمولاً راحت‌تر است؟ امروزه کدام یک بهتر خنک می‌شود؟

۱۴- تفاوت بین چرخه‌های باز و بسته را شرح دهید. کدام بیشتر شبیه یک چرخه بروی است، کدام یک دارای یک کوئل تهویه مطبوع است که اتاق را خنک می‌کند؟ امروزه کدام یک بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد؟ چرا؟

۱۵- چرخه‌های دسیکانت، مواد پرکننده سنتی درون آن‌ها و انواع جدید آن‌ها را توصیف کنید. چگونه آن‌ها جریان‌های هوا را خشک کرده و سپس توسط دیگر جریان‌های هوا احیا می‌شوند؟ چرا آن‌ها معمولاً گرم عمل می‌کنند؟ چه مشکلات ناشی دارند؟ تلفات آن‌ها چیست؟

۱۶- چگونه چرخه‌های خشک‌کن (دسیکانت) در سرمایش غیر مستقیم استفاده می‌شود؟ برای جریان‌های هوایی که آن‌ها خشک می‌کنند چه اتفاقی می‌افتد؟ چه چیزی آن‌ها را تا دمای عادی خنک می‌کند و چه اتفاقی برای گرمای دفع شده از آن‌ها می‌افتد؟ سپس چه چیزی هوای فوق خشک را به منظور سرمایش خنک می‌کند؟ چگونه؟

۱۷- برای احیای ماده خشک‌کن چرخ، چه چیزی هوای گرم تولید می‌کند؟ چه چیزی آن را پیش گرم می‌کند؟ چه چیزی آن را به دمای کاری می‌رساند؟ چه درجه حرارتی لازم است؟ چقدر گرما لازم است؟ چرا این قدر؟ توضیح دهید.

۱۸- تفاوت بین چرخه‌های تهویه و گردش مجدد را برای اتاق‌ها و ساختمان‌هایی که از طریق سرمایش غیرمستقیم دسیکانت خنک می‌شوند شرح دهید. امروزه آن‌ها چه کارایی دارند؟

چرخه دانکل چه فایده‌ای دارد؟ چگونه با چرخه‌های دیگر تفاوت دارد؟ آیا قیمت آن بیشتر است؟

۱۹- چه مشکلات منطقی در سرمایه‌ش غیر مستقیم نوع دسیکانت با احیای خورشیدی با بستر سنگی رخ می‌دهد؟ توضیح دهید. چگونه ممکن است که گردآورنده‌های خورشیدی از نوع مایع موجب تسهیل امر شوند؟ استفاده از جاذب مایع به جای جاذب سطحی چگونه موجب تسهیل می‌شود؟ توضیح دهید.

۲۰- در مطالعه کامپیوتری در چهار شهر، در مورد سه کولر غیرمستقیم از نوع دسیکانت و با احیای خورشیدی، چگونه آن‌ها مقایسه شدند؟ بهترین مورد برای مقایسه با پمپ حرارتی در حالت سرمایه‌ش با COP برابر ۳ کدام بود؟ در مقایسه با سایر انواع کولرهای غیر مستقیم کدام بود؟ به نظر چه چیزی لازم است؟ چه بهبودهایی در چشم‌انداز است؟ توضیح دهید.

۲۱- کولر غیرمستقیم چرخ دسیکانت با احیای خورشیدی ساخت تگزاس را شرح دهید. چگونه در مقایسه با انواع فوق این کولر می‌تواند اقتصادی‌تر باشد؟ چه کار می‌کند یا از چه چیزی چشم‌پوشی می‌کند که موجب تفاوت آن می‌شود؟ توضیح دهید.

فصل ۲۴

عوامل اقتصادی سرمایه‌ش تبخیری

هنگامی که در ابتدا در ناحیه جنوب غربی ایالات متحده، سرمایه‌ش برودتی با سرمایه‌ش تبخیری رقابت می‌کرد، مقایسه هزینه‌ها و مخارج نادیده گرفته می‌شد. انرژی برق ارزان بود و صرف نظر از مخارج، عموم مردم بیشتر به دلیل وجهه آن، دستگاه تهویه مطبوع جدید را خریداری می‌کردند. امروزه مخارج و هزینه‌های مصرف برق امری مهم محسوب می‌شود. با افزایش احتمالی ۵ تا ۱۰ درصدی نرخ های برق در هر سال برای حداقل چندین دهه پیش رو، مخارج و هزینه‌ها به طور روزافزونی قابل ملاحظه می‌شوند.

کاهش قیمت‌های اپک (سازمان کشورهای صادرکننده نفت: OPEC) در دهه ۱۹۸۰ فرصت کوتاهی را ایجاد کرد ولی ذخائر نفت رو به کاهش است و نیروگاه‌های هسته‌ای دیگر وعده برق ارزان نمی‌دهند: پرداخت هزینه‌های ساخت آنها، به همراه دفع زباله و اقدامات و عملیات حقیقی فراتر از نرخ‌های افزایش یافته است.

در عین حال، میلیون‌ها نفر از ما با داشتن بضاعت مالی، از داشتن تسهیلات تجملی چشم‌پوشی می‌کنیم. بنابراین، سرمایه‌ش‌های برودتی و تبخیری بسیار به یکدیگر نزدیک هستند.

در حال حاضر بسیاری از افراد اهل جنوب غربی، با داشتن سرمایه‌ش برودتی، از کولرهای تبخیری "افزودنی"^۱ به عنوان صرفه‌جویی آب و هوای خشک استفاده کرده و بقیه نیز دستگاه‌های دو پشته‌ای را می‌خرند که ترکیبی از آن دو است. بسیاری از دارندگان کولرهای مستقیم، در منطقه فونیکس،

1- Add-on

برای پایان فصل تابستان که فصل باران های موسمی است، کولرهای برودتی را به وسائل خود اضافه کرده و در بسیاری از ساختمان های بزرگ، دستگاه های مرکزی برودتی (چیلر)، در دوره های کوتاه فصول خشک، به عنوان سیستم های برج-کویل عمل می کنند (به فصول ۱۰ و ۲۲ مراجعه کنید). طبیعتاً نیاز به مقایسه دقیق هزینه ها افزایش می یابد.

نرخ بازده انرژی EER

نرخ گذاری های فدرال EER و SEER تا حدودی موجب ترویج و تشویق فروش دستگاه های برودتی و مشابه آن شدند. متأسفانه در این نرخ گذاری سرمایه گذاری تبخیری مستقیم نادیده گرفته شده، اگرچه به کولرهای غیرمستقیم تکی یا دارای مرحله دوم برودتی پرداخته شده است. در فصل ۱۷، مولف این کتاب مقادیر EER را برای کولرهای مستقیم مشخص کرده است.

به طور کلی، دستگاه های تهویه مطبوع برودتی متداول از نوع بخار-تراکمی دارای گستره EER بین ۶ تا ۱۰ Btu (۶/۳ تا ۱۰/۶ J) به ازای هر وات مصرفی هستند، که EER میانگین آن ها ۸ (یا EER متریک ۸/۴) می شود. کولرهای مستقیم، به راحتی در هوای گرم و خشک، دارای EER ۱۰۰ یا متریک ۱۰۰/۵ هستند که بر حسب افت دمای مرطوب تغییر می کند. البته وقتی دمای هوای کندانسور از ۹۵ F (۳۵ C) بیشتر می شود، EER کاهش می یابد، بنابراین، این دو سری EER خطی نیستند.

گزارش Gordian

در سال ۱۹۷۷ McGraw-Edison، سازنده کولرهای آبی در فونیکس، از یک مشاور در نیویورک به نام شرکت Gordian خواست تا هزینه های سرمایه گذاری تبخیری و برودتی را مقایسه کند. خود McGraw-Edison تحقیقات مشابهی در مقایسه با پمپ های گرمایی انجام داده بود.

مهم ترین هدف این تحقیق، مقایسه هزینه سرمایه گذاری تبخیری مستقیم، پمپ گرمایی الکتریکی و سرمایه گذاری بخار- تراکمی برای ساکنین غرب ایالات متحده است که شامل هر دو مخارج سالانه چرخه عمر محصول و انرژی مستقیم می شود.

در طی یک شبیه سازی کامپیوتری، یک خانه مشابه مفروض، در پنج شهر متفاوت با گستره آب و هوایی مناسب برای کولر تبخیری، در نظر گرفته شد که این شهرها عبارتند از: بورینک واقع در کالیفرنیا، فونیکس، ال پاسو واقع در تگزاس، دنور واقع در کلرادو، و اسپوکن واقع در واشینگتن. داده های "اداره ملی امور جوی و اقیانوسی" نشان می دهد که این شهرها دارای اقلیم های مختلفی هستند:

شهر	ارتفاع (ft)	(m)	F , درجه-روز گرمایش	F , درجه-روز سرمایش
Burbank	699	213	1,646	998
Phoenix	1,117	340	1,765	3,603
El Paso	3,918	1,194	2,700	2,260
Denver	5,283	1,610	6,283	492
Spokane	2,537	773	6,655	288

خانه‌های مورد آزمون با مساحت 1850 sq ft (172 m^2)، به صورت دو طبقه با گاراژهای متصل و با 662 sq ft (62 m^2) زیر زمین بودند. سقف خانه‌ها دارای مقاومت حرارتی R-20.8 بود. دیوارهای بیرونی با دیوار پوش‌های آلومینیومی دارای حدود R-13.5 بود. به منظور مطابقت با حداقل استانداردهای ملکی HUD-FHA و استانداردهای ۷۵-۹۰ ASHRAE، عایق‌بندی از شهری به شهر دیگر تغییر می‌کند. پشت بام دارای پوششی از آسفالت سیاه بر روی $\frac{5}{8}$ اینچ ($1/6 \text{ cm}$) تخته چنودا بود. پنجره‌ها (به جز طبقه زیرزمین) دارای چارچوب آلومینیوم، دو لنگه و مقاوم در برابر آب و هوا قرار بودند. مساحت کل شیشه 217 sq ft ($20/2 \text{ m}^2$) بود. درها چوبی بوده و مساحت دیوارهای بیرون 2634 sq ft (245 m^2) بود.

مهم‌ترین مقایسه برای مخارج و هزینه‌های سرمایه‌ش مستقیم انجام شد. در هر مورد، یک کولر آبی دو سرعته مدل Arctic Circle ساخت McGraw-Edison به ظرفیت 4220 cfm ($2 \text{ m}^3/\text{s}$) و با مقاومت $\frac{1}{2}$ اینچ آب (125 Pa) با موارد زیر مقایسه شد: (۱) دستگاه تهویه مطبوع مکانیکی مرکزی با بازده بالا (EER برابر $7/6$) (۲) دستگاه تهویه مطبوع مکانیکی استاندارد (EER برابر $6/5$) و (۳) یک پمپ حرارتی پر بازده در وضعیت سرمایه‌ش با COP برابر $2/8$ در 47 F ($8/3 \text{ C}$) و $2/1$ در 17 F ($8/3 \text{ C}$)، و EER برابر $7/8$. EER متریک بر حسب kJ/watt به ترتیب $8/0$ ، $6/9$ و $8/2$ بود.

همواره فرض بر این بود که بر طبق روال صنعتی، همه دستگاه‌ها با کانال و دریچه‌ها نصب شده‌اند. فرض بر این بود که هر سه دستگاه برودتی دارای کندانسور هوا-خنک بوده و از آب استفاده نمی‌کنند.

بر حسب لزوم، اهداف آسایش تا حدی قابلیت ارتجاعی داشتند. در حالی که هر سه سیستم مکانیکی دارای ترموستات‌هایی برای حفظ سطح آسایش داخلی در حد 75 F ($23/9 \text{ C}$) بودند، کولر آبی چنین وسیله‌ای نداشت. لزوماً فرض بر این بود که در هر چهار خانه مسکونی، کلیدهای پمپ و فن دو سرعته طوری تنظیم شده‌اند تا تنها دمای هوارسان تقریب شده یا در حد سرمایه‌ش تبخیری تا 77 F (25 C) باشد که به منظور اثرات سرمایه‌ش "باد سرد" ناشی از هوای شسته شده متحرک، 2 deg F (2 deg C) اختلاف لحاظ شد.

گزارش صرفه‌جویی در انرژی نسبت به سرمایه‌ش برودتی

اطلاعات دراز مدت آب و هوایی ساعتی برای هر فصل سرمایه‌ش هر شهر (تعیین شده بر حسب اقلیم) و روش محاسبه "سال مرجع آزمون" ASHRAE، نشان می‌دهد که هزینه‌های برق سرمایه‌ش و صرفه‌جویی در انرژی، توسط سرمایه‌ش تبخیری، مطابق جدول زیر است.

در این مطالعه از هزینه آب میانگین ۶/۵ gph (۲۴/۶ l/hr) کولر آبی صرف نظر شده، که در صورت در نظر گیری، هزینه بیشتری بین یک تا سه درصد را برای هر شهر شامل می‌شد.

به دلیل این که درصدهای صرفه‌جویی بین گرم‌ترین شهرها (فونیکس و ال پاسو)، شهرهای گرم (بوربنک) و سردترین شهرها (دنور و اسپوکن) تفاوت کمی دارد، این درصدها را می‌توان به طور مطمئنی در مورد دیگر شهرهای گستره سرمایه‌ش تبخیری نیز به کار گرفت.

هزینه‌های مالکیت و دوره عمر

برای محاسبه بارهای سرمای و گرمایی خانه و تعیین اندازه و نصب تجهیزات و ابعاد کانال‌ها، دماهای طرح داخلی قابل قبولی برای شهرهای مختلف به کار رفت.

میزان صرفه‌جویی کولر تبخیری

	کولر تبخیری		کولر برودتی صرفه جویی کولر برودتی		پمپ گرمایی کولر تبخیری استاندارد		کولر تبخیری صرفه جویی	
	برق kwh	آب gal.	kwh	kwh	kwh	kwh	kwh	kwh
Burbank	1305	5,086	4175	69%	4995	74%	4287	70%
Phoenix	2500	21,639	9681	74%	10,255	76%	8818	72%
El Paso	1872	11,636	5868	68%	6998	73%	5957	69%
Denver	627	3,480	1994	69%	2245	72%	2063	70%
Spokane	415	2,168	1380	70%	1554	73%	1430	71%
مجموع	6,719	44,009 (166,592 l)	23,098	70.9%	26,047	74.2%	22,555	70.2%

هر تاسیسات مفروض، بر اساس اعلام نمایندگی فروش محلی، تعیین قیمت شد که شامل نرخ‌های حمل و نقل و مالیات‌های فروش و غیره می‌شد.

برای پوشش در کل سال، در ابتدا کولر تبخیری با یک پمپ گرمایی در حالت فقط گرمایش (COP برابر ۳/۲ در ۴۷ F (۸/۳ C) و ۲/۳ در ۱۷ F (-۸/۳ C))، سپس با کوره الکتریکی مرکزی و نهایتاً با یک

کوره‌گازسوز جفت شد. هزینه‌های نصب کلی در سال ۱۹۷۷ در هر پنج شهر به طور میانگین بر حسب دلار برابر بود با:

۴.۱۲۸\$	کولر آبی دارای گرمکن - تنها پمپ گرمایی
۳.۹۴۷	پمپ گرمایی در طول سال
۲.۸۳۰	دستگاه تهویه مطبوع پر بازده و کوره الکتریکی
۲.۷۷۶	دستگاه تهویه مطبوع پر بازده و کوره‌گازسوز
۲.۴۴۰	کولر آبی و کوره‌گازسوز
۲.۳۶۵	کولر آبی و کوره الکتریکی

بر اساس سیاست تعویض دائمی که مستلزم هزینه استهلاک در طی دوره عمر مفید صنعتی است، داده‌های ASHRAE و IRS، و هزینه‌های نگهداری و تعمیر در سال اول، این سرمایه‌گذاری‌ها به صورت هزینه دوره عمر تبدیل شد که در جدول زیر ارائه می‌شود:

نمونه	تعداد سال	هزینه نگهداری	نمونه	تعداد سال	هزینه نگهداری
پمپ گرمایی در طول سال	۹	۱۵۰\$	کولر آبی	۱۵	۲۰\$
گرمایش-تنه‌پمپ گرمایی	۹	۱۵۰	دستگاه تهویه مطبوع مکانیکی	۱۶	۶۵
کوره الکتریکی	۱۵	۴۰	کانال‌ها، دودکش‌ها و..	۴۰	.....
کوره‌گازسوز	۱۶	۶۰			

سپس در این مطالعه، هزینه‌های اولیه سالانه در طول عمر تجهیزات، با استفاده از نرخ رهن ۹ درصدی خانه (۱۹۷۷) انجام پذیرفت. مخارج نگهداری و آب دارای نرخ تورم سالانه ۶ درصد و نرخ برق ۸

درصد در نظر گرفته شد. سپس میانگین مخارج خریداری (مالکیت) و کارکرد چرخه عمر، برای مناسب‌ترین سیستم سرمایه‌گذاری برای پنج شهر برابر شد با:

دستگاه تهویه مطبوع پر بازده	۶۴۸ دلار در سال
کولر تبخیری	۳۱۶ دلار در سال
صرفه‌جویی	۳۳۲ دلار در سال

هزینه کل میانگین در طی دوره عمر، که شامل تجهیزات گرمایش می‌شود، به صورت میانگین برای شهرها به شرح زیر است:

مقایسه هزینه سالانه در طی دوره عمر (برآورد شده و منطبق بر نمودار ستونی گزارش Gordian)

دستگاه تهویه مطبوع پر بازده		کولر تبخیری با:			
کوره گازسوز	کوره الکتریکی	پمپ گرمایی در طول سال	کوره گازسوز	کوره الکتریکی	گرمایش-تنها پمپ گرمایی
\$۹۱۷ / سال	\$۱۰۵۲ / سال	\$۱۰۳۹ / سال	\$۶۴۵ / سال	\$۷۶۱ / سال	\$۹۹۰ / سال

بنابراین در طول دوره عمر سالانه، ترکیب کولر تبخیری/کوره گازسوز نسبت به پمپ گرمایی، روی هم رفته \$۴۹۴ یا ۴۳ درصد و نسبت به سیستم برودتی پر بازده به همراه کوره گازسوز، \$۲۷۲ یا ۳۰ درصد صرفه‌جویی می‌کند.

در این گزارش ذکر شده که با فرض ساختمان دو طبقه، احتمالاً محاسبات به صورت بی‌ربطی مخارج نصب کولر تبخیری را با تورم در نظر گرفته، که به سبب هزینه کانال کولرهای آبی است. بنابراین از آنجا که نیمی از خانه‌ها در ایالات متحده یک طبقه هستند، هزینه‌های چرخه عمر سرمایه‌گذاری تبخیری به میزان قابل ملاحظه‌ای کمتر از چیزی است که نشان داده شده، که منجر به صرفه‌جویی بیشتری در این سیستم‌ها می‌شود.

در نهایت، گزارشات Gordian پیشنهاد می‌کند که کولرهای آبی مورد استفاده در ۱۹۷۷ به طور تخمینی موجب صرفه‌جویی ۶ میلیون بشکه گازوئیل می‌شوند. همچنین اگر ۵۰ درصد از سایر خانه‌ها

با استفاده از کولرهای تبخیری در طول سال خنک شوند، آنگاه حدود ۱۸ میلیون بشکه صرفه‌جویی خواهد شد.

عوامل اقتصادی سایر کولرهای مستقیم

پیچیدگی‌های مذکور در فصل ۱۷، دلیل عدم وجود اطلاعات هزینه‌ای عملیاتی مقایسه‌ای، برای دیگر کولرهای مستقیم را تشریح می‌کند. هزینه‌های ثبت شده نگهداری، برق و قیمت اولیه تقریباً بی‌معنی است مگر این که مقادیر سرمایه‌ش انجام شده معلوم باشد. اگر جریان حجمی خروجی یا درصد اشباع ضعیف باشد، آن گاه سرمایه‌ش ناکامل انجام می‌شود، در نتیجه برای استفاده از شرایط هزینه سودمند، سازندگان مجدد باقی می‌مانند. برای مثال، در مورد کولرهای با پد افشانه‌ای تجاری، رئیس یکی از بزرگترین تولیدکنندگان در مقاله‌ای^۱ موارد زیر را اظهار کرده‌است:

- هزینه‌های اولیه: دستگاه تهویه مطبوع مکانیکی حدوداً دوبرابر گران‌تر از کولر تبخیری است.
- نگهداری: مخارج دستگاه تهویه مطبوع مکانیکی حدوداً سه برابر سرمایه‌ش تبخیری است.
- هزینه‌های کارکرد: هزینه‌های دستگاه تهویه مطبوع مکانیکی حدوداً چهار برابر سرمایه‌ش تبخیری است.

این کولرهای بزرگ با پد افشانه‌ای، به دلیل سرعت بالاتر در دو پد متوالی و نیاز به انرژی برق بیشتر برای پاشش آب به جای صرفاً پمپاژ آب، الزاماً مستلزم مصرف برق بیشتری نسبت به کولرهای آبی معادل هستند. با این وجود، هزینه‌های نگهداری کمتر، عمر طولانی‌تر، و قابلیت اطمینان بیشتر، احتمالاً از طریق هزینه‌های چرخه عمر و هزینه برق، جبران شود.

در صورتی که سرعت هوا در شبکه توری پد دوار متعادل باشد، کولرهای تبخیری دوار بسیار مقرون به صرفه هستند. در این کولرها هیچ پمپی وجود نداشته، تقریباً هیچ چیزی دچار خوردگی نشده و چرخ دوار توان ناچیزی را مصرف می‌کند. هر چند این کولرها گران هستند ولی بسیار قابل اطمینان و بی‌دردر به نظر می‌رسند.

کولرهای با ماده واسط صلب دارای هزینه کارکرد ارزانی هستند. افت فشار استاتیک کم آن‌ها موجب سهولت کارکرد فن شده، هزینه‌های پمپاژ پایین است و پدها خود تمیز شوند، بدون شکم دادن و نیمه دائمی به نگهداری اندکی نیاز دارند. از نظر اقتصادی در مقایسه با تمام کولرهای مستقیم، در اندازه‌های بزرگ این کولرها از همه بالاتر هستند.

1- B. P. Edelman, "How to Keep Your Store Cool and Save Energy Too" Coin Launderer and Cleaner, May, 1975, p. 2.

امروزه هواسازهای نوع افشانه‌ای عملکرد بهتری برای سرمایش هوا دارند، اما اشتباهاً به عنوان کولر تبخیری محسوب می‌شوند. وابستگی این هواسازها به افشانه، مصرف برق زیادی را می‌طلبد زیرا آب چسبنده بوده و تمیزه کردن آن به توان زیادی نیاز دارد.

بر طبق نوشته مهندس مشاور، Richard G. Supple، در مورد هواسازهای تجاری: این هواسازها با ردیف افشانه‌های تکی و متقابلی از افشانه‌ها به ترتیب ۱/۷۵ و ۱/۹۹ اسب بخار را برای آماده‌سازی ۱۰،۰۰۰ cfm (۴/۷ m³/s) هوا مصرف می‌کنند در حالی که کولرهای با ماده واسط صلب ۰/۳۵ hp مصرف می‌کنند. او همچنین به هواسازهای سلولی اشاره داشت که احتمالاً بهترین وسیله برای تمیز کردن هوا بوده و برای ۱۰،۰۰۰ cfm توان ۲/۳۵ hp را مصرف می‌کنند.

معضل مقایسه هزینه

برای مقایسه هزینه‌های مصرف برق، برای سرمایش‌های برودتی و تبخیری مستقیم، در هنگامی که تقریباً سرمایش برابری دارند، الزامات بیشتری لازم است. حتی اگر ما از انواع جذبی چشم‌پوشی کرده و تنها تهویه مطبوع تراکمی را در نظر بگیریم، شرایط اقتصادی و بهره‌وری آن‌ها اساساً با سرمایش مستقیم متفاوت است. EER سرمایش برودتی، گرمای کل دفع شده توسط کویل‌های تبخیرکننده از هوای عبوری را به ازای هر وات مصرفی احتمالاً با ۹۰ درصد یا بیشتر هوای برگشتی، تحت پوشش قرار می‌دهد. همانطور که در فصل ۱۷ پیشنهاد شد، EER کولرهای مستقیم، تنها گرمای محسوس تبدیل شده به گرمای نهان (دفع نشده) را در حین عبور از کولرهای مستقیم تحت پوشش قرار می‌دهد. افزون بر این، EER سرمایش برودتی تقریباً ثابت است، در حالی که EER کولرهای مستقیم، با افت دمای مرطوب تغییر می‌کند، زیرا ۱۰۰ درصد هوا، هوای بیرونی جدید است.

روش مقایسه

همانطور که در این فصل اشاره شد، این EERها مربوط به خنک‌سازی هوا یا EER دستگاه است که تنها نشان می‌دهد که هوای برگشتی یا بیرونی با چه میزان کارایی و هزینه برقی به هوای تغذیه شونده یا هوای شسته شده تبدیل می‌شود. این EERها، فرآیندهای "سرمایش اتاق" را که به دنبال سرمایش هوا رخ داده و اهمیت زیادی دارد، پوشش نمی‌دهند.

فرآیندهای سرمایش اتاق، با تغذیه توسط هوای خشک یا هوای شسته شده تا حدودی مرطوب، تقریباً یکسان است. به هر جهت، هوای خنک، با حرکت در عرض اتاق یا فضا، گرما را جذب کرده و آن را به بیرون حمل می‌کند، در نتیجه دما کاهش یافته و شرایط بهبود می‌یابد. یک فرآیند، گرمای نهان را با خشکی خود کنترل کرده و دیگری با جذب آن در جریان جرمی هوا، در یکی از خشکی برای افزایش

تبخیر از پوست انسان استفاده شده و در دیگری از سرعت دادن به تلاطم هوای اتاق استفاده می‌شود. اما اساساً اتاق‌ها به سادگی توسط جذب گرما و دفع آن خنک می‌شوند.

در نتیجه، EERهای "سرمایش اتاق" برای فرآیندهای سرمایه‌ش برودتی و مستقیم، که از نظر کاربردی یکسان فرض می‌شوند، را می‌توان به سادگی به عنوان حرارت دفع شده اتاق توسط هوای عبوری به ازای هر وات مصرفی در نظر گرفت.

$$EER_{rc} = \frac{Btu \text{ جذب شده توسط هوای در گردش، از ورودی تا خروجی}}{\text{مجموع وات - ساعت مصرف شده توسط کولر هوا}}$$

یا

$$EER_{rcm} = \frac{\frac{KJ}{hr} \text{ جذب شده توسط هوای در گردش، از ورودی تا خروجی}}{\text{مجموع وات - ساعت مصرف شده توسط کولر هوا}}$$

در اینجا زیرنویس rc معرف "سرمایش اتاق" و زیرنویس rcm معرف سرمایه‌ش اتاق در سیستم متریک است. کولر هوا نیز معرف دستگاه سرمایه‌ش برودتی یا مستقیم است.

هنگامی که این EER_{rc} جدید با EER سرمایه‌ش هوا یا دستگاه مقایسه می‌شود ملاحظه می‌گردد که کوچک‌تر است: EER_{rc} معمولاً ۵ تا ۱۰ درصد کمتر از EER برودتی است، زیرا گرمای هوای تغذیه در کانال‌ها تلف شده یا هوای تغذیه به طور تصادفی از اتاق‌ها به بیرون نشت کرده یا توسط هوای جبرانی دستگاه هوارسان جابجا می‌شود.

البته به دلیل پتانسیل سرمایه‌شی تلف شده، در هنگامی که هوای شسته شده استفاده شده، لزوماً به همراه گرما، رطوبت و آلاینده‌های احتمالی جذب شده توسط آن به بیرون تخلیه می‌شود، EER_{rc} معادل ۴۰ تا ۸۰ درصد کمتر از EER سرمایه‌ش هوا یا دستگاه سرمایه‌ش مستقیم است. **نمودار سرمایه‌ش مفید در فصل ۱۷ میزان اتلاف را برای اغلب شرایط پیشنهاد می‌کند.**

اگر EER دستگاه تبخیری تقسیم بر براف‌دمای مرطوب معیار خوبی برای مقایسه کولرهای تبخیری است، آن‌گاه EER سرمایه‌ش اتاق (حرارت واقعی دفع شده از اتاق تقسیم بر وات مصرفی) می‌تواند بهترین یکای موجود برای مقایسه میزان اقتصادی بودن سرمایه‌ش تبخیری و برودتی باشد.

اثبات

در یک زمان، مولف کتاب برای یک تولیدکننده، سه کولر آبی را مورد آزمون قرار داد. نتایج مربوط در پایین نشان داده شده‌اند. ستون اول کولرها را معرفی می‌کند. ستون دوم گستره محاسبات اخیر EER های تبخیری سرمایه‌های تنظیم نشده را بر طبق روش فصل ۱۷ نشان می‌دهد؛ آن‌ها عمدتاً با میزان دمای مرطوب در حین آزمون و به میزان کمتر با عملکرد کولر تغییر می‌کنند. ستون های سوم و چهارم نمودار سرمایه مفید را به طور خلاصه ارائه می‌دهند.

اقتصاد سرمایه تبخیری مستقیم

کولر آبی	EER سرمایه هوا	افت دمای مرطوب		افزایش دمای هوای شسته شده در اتاق و % سرمایه مفید						سرمایش اتاق تخمینی	میانگین سرمایه اتاق تخمینی
		F	C	F: 6°	7°	8°	9°	10°	11°	EER _{rc}	EER _{rc}
				C: 3.3°	3.9°	4.4°	5.0°	5.6°	6.1°		
1/4 hp	59-66	14	7.8	54%	63%					27-30	28.5
		18	10.0	42	49	56%	63%				
1/3 hp	96-114	22	12.2	34	40	45	51	57%	62%	43-51	47.0
		26	14.4	29	34	38	43	48	53		
2 hp	84-86	30	16.7	25	29	33	37	42	46	38-39	38.5
		34	18.9	22	26	29	33	37	40		
		38	21.1	20	23	26	30	33	36		

در جدول بالا، به دلیل نبود داده‌های اصلی، در محل تقاطع افت دمای مرطوب مفروض deg F ۲۲ (deg C ۱۲/۲) با افزایش دمای هوای شسته شده مفروض deg F ۸ (deg C ۴/۴)، میزان سرمایه مفید ۴۵ درصد است که نشان می‌دهد ۵۵ درصد قابلیت سرمایه اصلی هوای شسته شده به بیرون تخلیه شده‌است.

پنجمین ستون، EER های تخمینی تبخیری سرمایه اتاق را براساس ۴۵ درصد EER اصلی ستون دوم نشان می‌دهد. در نتیجه اساساً مقدار آن‌ها متغیر است. ستون آخر میانگین گستره‌های ستون پنجم را نشان می‌دهد. همانطور که پیشتر توصیه شد، این مقادیر نهایی EER_{rc}، که به طور تقریبی از نظر مفهوم و نه مقدار به موازات EER_{rc} دستگاه‌های برودتی هستند، در نتیجه آن‌ها می‌توانند موجب ایجاد امکان مقایسه اقتصادی شوند.

به ویژه اگر دستگاه‌های تهویه مطبوع برودتی دارای EER سرمایه اتاق ۸ (در سیستم متریک ۸/۴) بوده و ساختمان مربوط به صورت میانگین ۱۰ درصد قابلیت سرمایه هوای تغذیه شده را تلف کند، آنگاه EER_{rc} خالص آن‌ها ۷/۲ یا ۷/۶ خواهد بود.

هنگامی که مقادیر فوق با مقادیر EER_{rc} سه کولر آبی مقایسه می‌شوند، میزان صرفه‌جویی تخمینی توان نسبت به سیستم برودتی مطابق زیر است:

کولر آزمون	EER_{rc} آن		EER_{rc} برودتی		% صرفه‌جویی
	Btu	Met.	Btu	Met.	
$\frac{1}{4}$ hp	28.5	30.0	7.2	7.6	72
$\frac{1}{3}$ hp	47.0	49.6	7.2	7.6	83
2 hp	38.5	40.6	7.2	7.6	<u>79</u>
					78%

با فرض افت دمای مرطوب 26 deg F ($14/4 \text{ deg C}$)، میزان صرفه‌جویی سه کولر 70 ، 82 و 78 درصد و با مقدار میانگین 77 درصد است. در واقع، دمای خشک بالاتر محیط می‌تواند موجب قطع مقادیر EER و EER_{rc} از طریق دماهای چگالنده شود، در مدارک رسمی، EER سیستم‌های برودتی تنها براساس دمای هوای چگالنده 95 F (35 deg C) اعلام می‌شود. بنابراین از میزان صرفه‌جویی در کولرهای تبخیری مستقیم نباید کاسته شده و به شاید بهتر است افزایش یابد تا احتمالاً موجب حفظ این حاشیه در طی یک گستره وسیع شود.

حداقل این که، این تحلیل و بررسی قویاً نتایج گزارشات Gordian را اثبات می‌کند. در صورت تخطی از مقدار آن‌ها، آنگاه کاملاً شرایط تابستانی را نشان می‌دهد و نه همه فصل‌ها را. برای به حداقل رساندن این تمایل، مولف این کتاب همه مستندات سه کولر آبی را، برای افزایش گستره شرایط آب و هوایی در نظر گرفت. برای بررسی درستی و صحت بیشتر، انجام آزمون‌های جدید توصیه می‌شود.

همچنین این اصول موجب مقایسه تقریبی تاثیر اقتصادی سیستم‌های مستقیم-غیر مستقیم با سیستم برودتی می‌شود (به مطالب پایین مراجعه کنید). در نمودار سرمایه‌ش مفید، یکی از اثرات پیش سرمایه‌ش مرحله غیر مستقیم، افزایش میزان دمای دریافتی هوای شسته شده در حین سرمایه‌ش اتاق‌ها یا فضاهای مورد نظر است. مورد دیگر، کاهش دماهای ورودی هوای شسته شده با پایین آمدن دماهای مرطوب بیرونی است. هر دوی این اثرات موجب جابجایی فعالیت به بخش پایینی-سمت راست نمودار شده که سرمایه‌ش مفید به طور تقریبی 50 درصد است.

بنابراین، در فصل‌های پیشین که مولف هزینه‌های برق سرمایه‌ش مستقیم-غیر مستقیم را به صورت تقریبی با سیستم برودتی مقایسه کرده‌است، وی میزان EER کلی سیستم‌های تبخیری را 50 درصد تخفیف داده‌است. آزمایشات، درستی این روش را بررسی خواهد کرد. البته EER های برودتی باید از

نظر گرمای تلف شده توسط هوای تامین (تغذیه) شده که معمولاً از ۵ تا ۱۵ درصد است تخفیف یابد، اما در ساختمان‌های دارای نشتی یا جایی که بیشتر از هوای جبرانی استفاده می‌شود از میزان فوق بیشتر است.

محاسبات نمونه: سرمایه‌ش مستقیم

یک دستگاه تهویه مطبوع تراکمی مستهلک شده و مالک باید آن را تعویض کند. با توجه به افزایش یکنواخت هزینه برق، مالک باید تصمیم بگیرد که آیا یا یک دستگاه برودتی ممتاز با EER ۱۱ (در سیستم متریک با EER ۱۱/۶) خریداری کند یا یک سیستم تبخیری مستقیم با EER ارزیابی شده ۲/۹ به ازای هر درجه F (EER متریک ۵/۵۱ به ازای هر درجه C) افت دمای مرطوب تهیه کند.

میانگین افت دمای مرطوب در تابستان ۳۰ deg F (۱۵/۶ deg C) است. در حال حاضر در این خانه از ۵ درصد هوای جبرانی استفاده می‌شود و میزان افزایش دمای هوای شسته شده در سرمایه‌ش اتاق تا قبل از تخلیه به بیرون ۸ deg F (۴/۴ deg C) است.

مسئله: درصد احتمالی صرفه‌جویی انرژی برق در هر فصل را، در صورتی که سرمایه‌ش تبخیری مستقیم نصب شود، محاسبه کنید.

۱. محاسبه EER های سرمایه‌ش اتاق مربوط:

<p>سیستم برودتی: سیستم برودتی: 11.6 metric EERs - 5 percent = 11.03 EERmrc</p> <p>سیستم تبخیری: از نمودار سرمایه‌ش مفید، سرمایه‌ش مفید خالص = ۳۳ درصد، در نتیجه: 505.51 (16.67) metric EERs X 33 percent = 30.3 EERmrc</p>	<p>سیستم برودتی: 11 EERs - 5 percent = 10.45 EERrc</p> <p>سیستم تبخیری: از نمودار سرمایه‌ش مفید، سرمایه‌ش مفید خالص = ۳۳ درصد، در نتیجه: 2.9 (30) EERs X 33 percent = 28.71 EERrc</p>
--	---

۲. محاسبه درصد احتمالی صرفه‌جویی فصلی در انرژی برق:

$$\frac{28.71 \text{ EER}_{rc} - 10.45 \text{ EER}_{rc}}{28.71 \text{ EER}_{rc}} = 63.6\% \quad \left| \quad \frac{30.3 \text{ EER}_{mrc} - 11.03 \text{ EER}_{mrc}}{30.3 \text{ EER}_{mrc}} = 63.6\%$$

البته، دماهای بیرونی بالای $F 95 (C 35)$ به صورت تدریجی EER ها و EER_{rc} های سیستم برودتی را افزایش داده و تقریباً همیشه افت دمای مرطوب و EER های تبخیری را بالا می‌برند. بنابراین، درصد صرفه‌جویی، در هنگامی که دمای خشک بالاتر از $F 95 (C 35)$ است، بالاتر خواهد رفت.

محاسبات نمونه: سرمایه‌ش مستقیم - غیر مستقیم

ساختمان جلویی یک فروشگاه، انبار کالاهای خشک است. هنگامی که بهره‌بردار بازنشسته می‌شود، مالک آن جا را برای یک رستوران مکزیکی اجاره می‌دهد. در حالی که در طی استفاده قبلی نیاز خاصی به هوای جبرانی نبود، در حالت جدید به ۴۰ درصد هوای جبرانی نیاز بوده و در نتیجه مالک می‌خواهد بین یک سیستم برودتی جدید با $EER 10$ و یک کولر غیر مستقیم-مستقیم با EER ارزیابی شده $3/2$ به ازای هر درجه F (EER متریک $6/08$ به ازای هر درجه C) افت دمای مرطوب، مقایسه اقتصادی انجام دهد.

میانگین افت دمای مرطوب فصلی $F 24 \text{ deg } (C 13/3 \text{ deg } C)$ است. برای هوارسانی بهتر فرض بر این است که میزان افزایش دمای هوای شسته شده تا قبل از تخلیه به بیرون $F 6 \text{ deg } (C 3/3 \text{ deg } C)$ است. پیشنهاد می‌شود که هوای شسته شده بدون پیش سرمایه‌ش، تنها $3/5$ درصد سرمایه‌ش مفید را تشکیل می‌دهد هر چند که در محاسبات منظور نمی‌شود.

مسئله: درصد احتمالی صرفه‌جویی انرژی برق، در هر فصل را، در صورتی که سرمایه‌ش تبخیری غیر مستقیم-مستقیم نصب شود، محاسبه کنید.

۱. محاسبه EER سرمایه‌اش اتاق مربوط:

سیستم برودتی: 10.55 metric EERs - 40 percent = EERmrc 6.33 سیستم تبخیری: از نمودار سرمایه‌اش مفید، سرمایه‌اش مفید خالص = ۵۰ درصد، در نتیجه: 3.2 (24) EERs X 50 percent = EERrc 38.4	سیستم برودتی: 10 EERs - 40 percent = 6.0 EERrc سیستم تبخیری: از نمودار سرمایه‌اش مفید، سرمایه‌اش مفید خالص = ۵۰ درصد، در نتیجه: 6.08 (13.33) metric EERs X 50 percent = 40.52 EERmrc
--	---

۲. محاسبه درصد احتمالی صرفه‌جویی فصلی در مصرف برق:

$$\frac{38.4 \text{ EERrc} - 6 \text{ EERrc}}{38.4 \text{ EERrc}} = 84.4\% \quad \left| \quad \frac{40.52 \text{ EERmrc} - 6.33 \text{ EERmrc}}{40.52 \text{ EERmrc}} = 84.4\%$$

یادآوری: تنها تجربه می‌تواند نشان دهد که چگونه می‌توان از نمودار سرمایه‌اش مفید در مورد سرمایه‌اش غیرمستقیم-مستقیم استفاده کرد. بررسی موارد اصلی در فصل ۱۷ میزان مناسب بودن تخمین فعلی ۵۰ درصدی سرمایه‌اش مفید کلی را نشان خواهد داد.

همانطور که پیشتر ذکر شد، دمای خشک بیرونی بالای ۹۵ (۳۵ C) موجب افزایش میزان صرفه‌جویی تخمینی فوق می‌شود.

شرایط اقتصادی سیستم‌های سرمایه‌اش تبخیری غیرمستقیم

سرمایش غیرمستقیم می‌تواند تک مرحله‌ای باشد اما به طور فزاینده‌ای دارای چندین مرحله است، که حتی تا چهار مرحله نیز می‌رسد. از این رو، "سیستم‌ها" واژه مناسبی است. عوامل اقتصادی آن‌ها به طور برابری با یکدیگر متفاوت هستند.

کولرهای غیرمستقیم نوع صفحه‌ای دارای مرحله دوم مستقیم، صرفه‌جویی‌های چشمگیری را به همراه دارند. در مقاله نشریه ASHRAE، Mike Scofield و دکتر Nicholas H. DesChamps یادآور شده‌اند که میزان صرفه‌جویی در EERهای سرمایه‌اش هوا به ۶۸/۳ درصد (در حالت EERهای متریک به ۷۲/۱ درصد) و در مقایسه با سرمایه‌اش عادی در ساختمان‌های شهر دنور این میزان به ۸۹/۵ درصد رسیده که با نرخ برق ۵ سنت به ازای هر کیلو وات ساعت، صرفه‌جویی سالانه ۳۱۲۹ دلار را به

همراه دارد! مولف معتقد است که در هنگامی که افت دمای مرطوب از 34 deg F ($18/9 \text{ deg C}$) بیشتر می‌شود EERهای سرمایش هوا به بیش از ۱۱۰ (در حالت متریک ۱۱۶) می‌رسد.

دستگاه‌های منحصر به فرد غیر مستقیم استرالیایی، که به صورت تک مرحله‌ای در هوای با dbt برابر 95 C (35 F) و wbt برابر $80/6 \text{ F}$ (27 C) کار می‌کنند، در طی سه سرعت فن عملکردهای زیر را به نمایش می‌گذارند:

سرعت بالا	سرعت متوسط	سرعت پایین
2797 cfm	1843 cfm	1526 cfm
$1.32 \text{ m}^3/\text{s}$	$0.87 \text{ m}^3/\text{s}$	$0.72 \text{ m}^3/\text{s}$
71,713 Btuh	48,492 Btuh	42,003 Btuh
75,662 kJ/hr	51,162 kJ/hr	44,316 kJ/hr
1680 kwh*	1280 kwh*	1210 kwh*
42.69 EER	37.88 EER	34.71 EER

*تحت عنوان "توان فن" شناخته می‌شود. اگر افزایش ۱۰ درصد به kwh بتواند معرف توان پمپاژ باشد، در آن صورت پارامتر اقتصادی عبارت است از:

31.56 EER 34.44 EER 38.81 EER

همچنین داده‌ها با دادن مقادیر گرمای دفع شده از فضاهاى خنک شده، اجازه محاسبه EERهای "سرمایش هوا" را به صورت زیر می‌دهند:

18,099 Btuh 19,465 Btuh 28,002 Btuh
 14.96 EER_{rc} 15.21 EER_{rc} 16.67 EER_{rc}

که مقدار کاهش یافته جهت در نظرگیری هزینه‌های پمپاژ فوق برابر است با:

13.60 EER_{rc} 13.82 EER_{rc} 15.15 EER_{rc}

تمایز گسترده میان EERهای سرمایش هوای کولر غیرمستقیم با EERهای بسیار پایین سرمایش اتاق ساختمان، نشانگر ساختار دارای نشتی است و در نتیجه بیشتر هوای تامین شده به عنوان هوای برگشتی باز نمی‌گردد.

کولرهای مشابه غیرمستقیم ساخت ایالات متحده که دارای صفحات پلاستیکی با روکش جاذب هستند، نتایج مربوط به کولرهای مستقیم-غیر مستقیم را در نه شهر جنوب غربی ارائه می‌دهند. پایین‌ترین EER سرمایه‌ش هوا در فونیکس و لوبوک برابر با ۳۳ بود. بالاترین نیز در دنور و برابر با ۵۴ بوده و به دنبال آن در سالت لیک سیتی و آلبوکرک به ترتیب ۵۱ و ۵۰ بود. مقدار میانگین در این مطالعه برابر ۴۳/۴ بود.

با فرض نرخ برق ۷ سنت به ازای هر kWh و ترموستات‌هایی که در ۸۰ F (۲۶/۷ C) عمل می‌کنند، میزان برآورد صرفه‌جویی با EER بروستی ۸/۹ و ۶/۹ به ترتیب ۳۷۲/۳۳ و ۴۹۵/۸۹ بود. به طور میانگین، نسبت به کولر آبی با بازده ۸۰ درصد در نه شهر مزبور، این کولر دو مرحله‌ای، هوای شسته شده ۶۳/۷ F (۱۷/۶ C) را در مقایسه با کولر دیگر در ۷۲/۶ F (۲۲/۶ C) تحویل می‌دهد که deg F ۸/۹ (۴/۹ deg C) پایین‌تر است. این تفاوت منجر به جریان حجمی کمتری برای ایجاد آسایش شده و احتمالاً اندازه کانال و ابعاد دهنه خروجی و توان مورد نیاز فن را کاهش می‌دهد.

سایر سیستم‌های غیرمستقیم

تولیدکنندگان دستگاه‌های چهار مرحله‌ای جمع و جور (کم حجم)، که هر یک دارای دو برج و کویل هستند، در مدارک خود EERهای زیر را ارائه داده‌اند. این EERها که بر اساس dbt برابر ۹۶ F (۳۵/۶) و wbt برابر ۶۱ F (۱۶/۱ C) و dbt طرح ۷۸ F (۲۵/۶ C) برای اتاق است عبارتند از:

دستگاه دو مرحله‌ای	31.98 EER	EER متریک 33.7
دستگاه سه مرحله‌ای	44.3 EER	EER متریک 46.7
دستگاه چهار مرحله‌ای (فن کوچک)	45.5 EER	EER متریک 47.9
دستگاه چهار مرحله‌ای (فن بزرگ)	26.9 EER	EER متریک 28.4

به سبب کاربرد مشروط و موقتی، سیستم‌های مدار باز، اقتصاد بسیار متغیری را ارائه می‌کنند. با این وجود، دوره دوساله بازگشت سرمایه آن‌ها در شهر نیویورک یک عامل مشوق است. سیستم‌های سرمایه‌ی-ذخیره‌ای برج خنک‌کن، در شب هنگام از نعمت برق ارزان برخوردار بوده ولی به دلیل داشتن تعداد زیادی مخزن ذخیره، قیمت بالایی دارند. بنابراین آن‌ها نمی‌توانند در کوتاه مدت با دیگر سیستم‌های غیرمستقیم رقابت کنند.

از نظر عوامل اقتصادی کولر، سازندگان نوع لوله‌ای بیشترین داده‌ها را ارائه می‌کنند. یکی از سازندگان، با استفاده از دماهای طرح ۱۶ شهر غربی که از شهرهای گرم و خشک فونیکس، ال پاسو و سالت لیک

سیتی تا شهرهای خنک و مرطوب سیاتل، پورتلند و سان‌فرانسیسکو گسترده شده، عملکرد یک چیدمان سه مرحله‌ای مستقیم-غیرمستقیم را برآورد کرده‌است. EER های سرمایه‌ش هوا برای هر مورد در جدول ۱ فصل ۲۲ محاسبه شده‌اند.

اولین برآورد مربوط به یک کولر غیر مستقیم با ضریب تاثیر ۶۰ درصد با یک مرحله دوم مستقیم دارای ضریب تاثیر ۹۰ درصد بود. در اینجا، مقادیر EER کلی بر مبنای Btu از ۱۰/۶ در شهر اوستین ایالت تگزاس تا ۴۷/۶ در دنور متغیر بود که میانگین آن ۳۳/۵ می‌شود. هزینه‌های برق مربوط از ۱۷ درصد سیستم برودتی با EER برابر ۸ در دنور تا ۳۹ درصد در اوستین متغیر بوده که میانگین آن ۲۵/۱ درصد می‌شود.

برآورد دوم مربوط به یک سیستم مستقیم-غیر مستقیم مشابه است که دارای یک تقویت‌کننده^۱ به صورت یک دستگاه غیرمستقیم برای پیش سرمایه‌ش هوای ثانویه جهت دستگاه مستقیم اولیه است. EER های کل از ۱۷/۳ در اوستین تا ۳۹/۳ در دنور متغیر بوده و میانگین آن ۲۸/۰ بود. هزینه‌های برق مربوط از ۲۰ درصد سیستم برودتی در دنور تا ۴۶ درصد در اوستین متغیر بوده که میانگین آن ۳۰/۴ درصد می‌شود.

سومین برآورد مربوط به یک سیستم مستقیم-غیرمستقیم با یک تقویت‌کننده است که نیمی از هوای اولیه و نیمی از هوای ثانویه را پیش سرمایه‌ش می‌کند. عملکرد EER این سیستم از ۲۱/۵ در اوستین تا ۴۷/۸ در دنور متغیر بوده و میانگین آن ۳۴/۰ بود. هزینه‌های برق مربوط از ۱۷ درصد سیستم برودتی در دنور تا ۳۷ درصد در اوستین متغیر بوده که میانگین آن ۲۴/۸ درصد می‌شود.

یک تمایز عمده میان این سه نوع سرمایه‌ش غیرمستقیم مرحله‌ای، در دماهای هوای تامین شده بود که به ترتیب F ۶۲/۳ (۱۶/۸ C)، F ۶۰/۴ (۱۵/۸ C) و F ۵۷/۲ (۱۴ C) است. اختلاف دمای ۵ deg F (۲/۸ deg C) ما بین نوع اول و آخر می‌تواند موجب کانال و دهانه خروجی کوچک‌تر بشود.

با قرار دادن این سه سیستم در کنار هم، سرمایه‌ش مستقیم-غیرمستقیم به طور میانگین موجب ۷۳/۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف برق این ۱۶ شهر می‌شود.

متقابلاً، یک سازنده کولرهای عمودی لوله‌ای غیرمستقیم، در هنگامی که دستگاه‌های وی، در ۱۲ شهر شامل بوستون، شیکاگو، نیویورک، نیوآرک، پیتسبورگ و واشینگتن، جایگزین دستگاه تهویه مطبوع برودتی گریز از مرکز ۵۰۰ تنی با ۵۰ تن بار سرمایه‌شی هوای جبرانی شد، این اثرات را مورد مطالعه قرار داد.

پیش سردکن‌ها، EER کل را در بوستون ۰/۴۴ افزایش داده که موجب دوره بازگشت سرمایه ۳/۶ سال شده و این افزایش EER در دنور ۱/۲۸ بود که دوره بازگشت سرمایه آن ۱/۳ سال می‌شد. برای این ۱۲ شهر، میانگین افزایش EER برابر ۰/۶۹ و دوره بازگشت سرمایه ۲/۱ سال می‌شود. این مقادیر نشانگر قابلیت بالایی برای این بازار است.

داده‌های مربوط به سایر انواع کولرهای غیرمستقیم تولیدی نباید خیلی متفاوت باشد. ممکن است کولرهای با چرخ دوار مبادله‌کننده حرارت^۱ دچار معضل نشستی باشند که در انواع دیگر شایع نبوده و شاید هزینه برق فن، تنها در کولرهای غیرمستقیم استرالیایی بالا باشد. البته، EERهای تا ۵۰ نیز گزارش شده‌است که از طریق بازیابی تا ۸۵ نیز افزایش می‌یابد.

باید به خاطر داشت که بسیاری از کولرهای غیرمستقیم برای بازیابی گرمای تلف شده در زمستان خریداری می‌شوند که تا حد سرمایه‌ش تابستانی صرفه‌جویی می‌کنند. در نتیجه، بدین ترتیب افت EER یک نوع دستگاه در تابستان می‌تواند برای کل سال جبران شده و بالاتر باشد.

حالت کلی

در یک مقاله دیگر، یک دستگاه مستقیم- غیرمستقیم ۱۰،۰۰۰ cfm (۴/۷ m³/s) با یک دستگاه تهویه مطبوع دارای یک برج خنک‌کن بزرگ مقایسه شد. مشاهده شد که توان دستگاه‌های مربوط hp ۱/۲۴ و hp ۲۲/۳۲ است، در نتیجه در سرمایه‌ش تبخیری ۹۴ درصد صرفه‌جویی صورت گرفت. شرایط آب و هوایی ذکر نشده‌است. مولف معتقد است وقتی دماهای مرطوب طرح در جداول دمای طرح با انطباق $\frac{1}{3}$ درصد کتاب راهنمای ۱۹۷۷ ASHRAE، کمتر از ۶۷ F (۱۹/۴ C) هستند می‌توان به عملکرد معادل دست یافت. چنین صرفه‌جویی حداقل برای شهرهای زیر ارزیابی شده‌است:

آلبوکرک	لوباک
آماریلو	فونیکس
دنور	رنو
ال پاسو	سالت لیک سیتی
آیداهو فالز	سن برنادینو
لاس وگاس	توسان

مولف بر این باور است که این تجهیزات می‌توانند، در هر جایی که دماهای مرطوب کمتر از ۷۵ F (C) (۲۳/۹) هستند، مقرون به صرفه باشند.

صرفه‌جویی در اوج بار تابستانی

مقاله ارائه شده ASHRAE در بالا، دو گونه صرفه‌جویی را از یک سرمایه‌ش مشابه توصیف می‌کند که یکی مربوط به حال حاضر و دیگری برای آینده است. ابتدا این که بسیاری از شرکت‌های برق به مشتریانی نیاز دارند که ماهانه درصد ثابتی (مثلاً ۷۵ درصد) از حداکثر توان مورد تقاضای خود را برای چندین ماه متوالی بپردازند. به این کار "ماده تضمین"^۱ گویند، هدف از این کار ممانعت از تقاضاهای موقتی برای مصرف بیشتر از میانگین است. در نتیجه، این کار به طور جدی مصرف کنندگان سرمایه‌ش تابستانی را جریمه می‌کند.

در عمل، کاهش بارهای "متصل"^۲ ساختمان، موجب قطع هزینه‌های اوج بار به جای قطع مصرف کل واقعی می‌شود. به سبب این که سرمایه‌ش تبخیری قادر است تا احتمالاً ۷۵ درصد بارهای متصل را حذف کند، می‌تواند به طور مشخصی اوج مصرف در نیمه تابستان و هزینه‌های ناشی از جریمه آن را کاهش دهد. در مقاله مزبور حالتی ذکر شده که یک سیستم مستقیم-غیر مستقیم، مصرف اوج تابستانی را به ۵۶۳ دلار کاهش داده که موجب کاهش هزینه‌های ناشی از جریمه به میزان ۳۰۴ دلار در ماه می‌شود.

دوم، محدودیت‌های اضطراری دمای ساختمان توسط وزارت انرژی^۳ است که در حال حاضر وجود نداشته ولی در آینده با بحران سوخت احیا خواهد شد. در این محدودیت‌ها، سرمایه‌ش تبخیری از معیارهای اصلی موثر بر سرمایه‌ش برودتی مستثنی است. به ویژه، موسسات تجاری که با سرمایه‌ش تبخیری خنک می‌شوند، می‌توانند در ۷۵ F (C) (۲۳/۹) یا کمتر بوده در حالی که در سرمایه‌ش برودتی دما باید قانوناً در ۷۸ F (C) (۲۳/۶) بماند.

اگر مقررات EBTR دوباره اجرا شود، آن گاه اختلاف حاصل در میزان آسایش می‌تواند به خرده فروش‌ها، رستوران‌ها، هتل‌ها، متل‌ها، ساختمان‌های اداری و سازندگان، که ارتباط با مشتریان یا کارکنان آن‌ها تحت تاثیر میزان آسایش است، کمک کند.

1- Ratche clause

2- Connected

3- Department of Energy's Emergency Building Temperature Restrictions (EBTR)

خلاصه

۱. شبیه سازی کامپیوتری گزارش Gordian در ۱۹۷۷ نشان داد که سرمایش با استفاده از کولرهای آبی در همه خانه‌ها از طریق کانال نسبت به سیستم‌های برودتی حدود ۷۱-۷۲ درصد برق کمتری در کل فصل سرمایش (تابستان) مصرف می‌کند. میانگین مخارج تملک و عملیات در طول چرخه عمر، به طور سالانه ۳۱۶ دلار شد که به طور واضح کمتر از ۵۰ درصد است. هنگامی که کوره‌های گازسوز اضافه می‌شوند، سیستم کولر در مقایسه با سیستم مکانیکی ۳۰ درصد و در مقایسه با پمپ گرمایی ۴۳ درصد، در مجموع هزینه‌های گرمایشی-سرمایشی و مالکیت صرفه‌جویی می‌کند.
۲. داده‌های تطبیقی بسیار نادر هستند اما اگر یکی کولر آبی را به صورت استاندارد به کار گیرد در می‌یابد که، تقریباً همه انواع دیگر، به دلیل پودر کردن آب به جای پمپاژ آن، مصرف برق بیشتری دارند. تنها استثنا کولرهای با ماده واسط صلب و کولرهای دوآر هستند. کولرهای دوآر هزینه گردش آب ناچیزی دارند اما معمولاً از برق مصرفی اضافی بیشتری برای فن استفاده می‌کنند.
- همه انواع مذکور طول عمر مفید بیشتر و هزینه نگهداری کمتری نسبت به کولرهای آبی دارند، بنابراین احتمالاً آن‌ها هزینه‌های مصرف برق اضافی خود را از طریق هزینه مالکیت (خرید) خود جبران می‌کنند. پر هزینه‌ترین دستگاه در هزینه‌های پمپاژ، برق مصرفی فن، خرید و نگهدار، هواسازها هستند.
۳. EER های سرمایش هوا، نرخ‌های به صرفه‌ای را برای دستگاه‌های کولر فراهم می‌آورند. EER عبارت از حرارت دفع شده از هوای عبوری از دستگاه خنک‌کن تقسیم بر مقدار وات مصرفی است. برای دستگاه‌های تهویه مطبوع تراکمی، EER های مبتنی بر Btu، بین ۶ و ۱۰ و برای کولرهای تبخیری مستقیم، بر حسب رطوبت هوای بیرون، احتمالاً از ۲۰ تا ۱۵۰ است. EER متریک براساس J/hr، ۱/۰۵۵ برابر بیشتر است.
۴. یک تکنیک مبتنی بر EER که در اینجا توسعه یافته به آسانی اجازه مقایسه میان شرایط اقتصادی سرمایش‌های برودتی و تبخیری مستقیم را می‌دهد. برای یک ساختمان معلوم، اگر EER سرمایش برودتی برابر ۸ تخمین زده شده و میانگین EER هم تراز تبخیری مستقیم در طی یک افت دمای مرطوب متداول ۹۰ باشد، آنگاه با تفریق درصد اتلاف هوای تامین شده برای دستگاه برودتی و هوای شسته شده، در روش سرمایش تبخیری مستقیم که در اتاق‌های واقعی مورد سرمایش تجربه می‌شود، می‌توان مقایسه انجام داد (به فصل ۱۷ مراجعه کنید).

بنابراین، برحسب معمول، اگر هوای تامین شده ۱۰ درصد و هوای شسته شده ۶۰ درصد از EER سرمایه‌ش هوا را درحالی از دست بدهند که بهترین سرمایه‌ش را انجام می‌دهند، میزان صرفه‌جویی در توان از طریق سرمایه‌ش تبخیری عبارت است از:

$$\frac{40\% (90 \text{ EER}) - 90\% (8 \text{ EER})}{40\% (90 \text{ EER})} = \frac{28.8}{36} = 80\%$$

در اینجا افت EER هوای تامین شده بر پایه تجربه ذکر شده و افت EER هوای شسته شده نیز از نمودار سرمایه‌ش مفید در فصل ۱۷ است که در آن امکانات آسایشی در آب و هوای مورد انتظار بهینه شده‌است.

۵. این اصول به ما کمک می‌کند تا عوامل اقتصادی کولرهای مستقیم- غیر مستقیم و برودتی را مقایسه کنیم. در اینجا، تاثیر پیش سرمایه‌ش مرحله غیر مستقیم، به صورت تغییر مکان محل تقاطع در نمودار سرمایه‌ش مفید مربوط به ۵۰ درصد ناحیه سرمایه‌ش مفید است. بنابراین، در اینجا و طی مطالب پیشتری که مولف طی آن عوامل اقتصادی را به طور ویژه مقایسه کرده‌است، به منظور مقایسه با EERهای برودتی و همچنین میزان تخفیف مناسب برای تلفات هوای تامین شده، وی تنها EERهای مستقیم- غیر مستقیم گزارش شده را ۵۰ درصد تخفیف داد(به فصول ۲۱ و ۲۲ مراجعه کنید).

۶. مقدار EER کولرهای غیرمستقیم به صورت گسترده‌ای با افت دمای مرطوب و نوع مراحل دوم و سوم افزوده شده متفاوت است. دستگاه‌های از نوع صفحه‌ای که دارای صفحات فلزی بدون پوشش هستند به EERهای بالای ۷۰ رسیده که بر طبق گزارشات، در آب و هوای مناسب به ۱۱۰ نیز می‌رسد.

گستره EER مدل‌های صفحه-پلاستیکی استرالیایی بین ۳۱/۶ و ۳۸/۸ در طی آب و هوای مناسب و در طی عملکرد تک مرحله‌ای است. دستگاه‌های مشابه آمریکایی که دارای مرحله دوم تبخیری مستقیم هستند در طی اقلیم‌ها و ارتفاعات مختلف از سطح دریا، دارای EER بین ۳۳ و ۵۴ هستند. بر طبق گزارشات، یک کولر چهار مرحله‌ای پیچیده دارای EER بین ۲۶/۹ تا ۴۵/۴ است.

یک سیستم مستقیم- غیر مستقیم لوله‌ای با مراحل مختلف، بسته به آب و هوا، دارای گستره EER بین ۱۰/۶ تا ۴۷/۸ است. هزینه برق مصرفی این سیستم بین ۱۷ تا ۴۷/۸ درصد یک سرمایه‌ش برودتی با EER برابر ۸ است. یک کولر لوله‌ای دیگر، که برای پیش

سرمایش هوای جبرانی یک سیستم سرمایش برودتی با آب خنک استفاده می‌شود، موجب افزایش EER از ۰/۴۴ تا ۱/۲۸ در شهرهای مختلف شده و به طور میانگین، تنها ظرف ۲/۱ سال، دارای دوره بازگشت سرمایه است. بر طبق گزارشات، مبدل‌های حرارتی با چرخ دوآر به EER برابر ۵۰ رسیده که امید می‌رود در آب و هوای مناسب به ۸۵ برسد.

هنگامی که دومین مرحله به صورت سرمایش برودتی است، سرمایش غیر مستقیم تقریباً در هر جایی می‌تواند مقرون به صرفه باشد. حتی این مرحله دوم می‌تواند آن قدر کوچک باشد که تنها ۱۵ درصد از سال کار کرده و در اندازه‌ای کوچک باشد.

۷. هر نوع سرمایش تبخیری، موجب کاهش بارهای توان "متصل" ساختمان‌ها و در نتیجه کاهش تقاضا در اوج مصرف تابستانی می‌شود. به خاطر جرایم شرکت‌های برق در طی اوج مصرف، سرمایش تبخیری می‌تواند موجب صرفه‌جویی مالی فراتر از صرفاً کاهش مصرف شود.

۸. نتیجه‌گیری: عوامل اقتصادی توصیه می‌کنند که سرمایش غیر مستقیم مرحله‌ای، دارای توانایی بالایی برای جایگزینی با اغلب دستگاه‌های تهویه مطبوع برودتی بوده و در تابستان‌های بسیاری مناطق آسایش ارزان‌تری را ایجاد می‌کند. در سالهای آینده که نیاز بیشتری به برق، خواهد بود لازم است که ما این روش را توسعه بیشتری بدهیم.

پرسش‌های دوره‌ای

۱. سه روشی که سرمایه‌ش برودتی و تبخیری را به یکدیگر نزدیک می‌کنند کدامند؟ EER چیست؟ چه گستره‌های EER مشخصه دستگاه تهویه مطبوع برودتی است؟ چه گستره‌های EER مشخصه سرمایه‌ش تبخیری مستقیم است؟ چگونه EER دستگاه تهویه مطبوع برودتی تغییر می‌کند؟ چگونه EER سرمایه‌ش تبخیری مستقیم تغییر می‌کند؟
۲. چه شهرهایی در مطالعه و بررسی گزارشات Gordian در نظر گرفته شدند؟ کدام یک دارای گرم‌ترین آب و هوا است؟ کدام یک دارای سردترین آب و هوا است؟ با چه تجهیزاتی در این مطالعه کولرهای آبی مقایسه شدند؟ چگونه دماهای داخلی در خانه‌های مورد آزمون تثبیت شدند؟ چرا در خانه‌های مجهز به کولر آبی دماهای مجاز بالاتر است؟
۳. میانگین صرفه‌جویی فصلی در برق، برای کولر آبی نسبت به سیستم‌های برودتی با EER ۷/۶ چقدر بود؟ نسبت به سیستم‌های برودتی با EER ۶ چقدر بود؟ نسبت به پمپ گرمایی با EER ۷/۸ چقدر بود؟ چرا باید کل نتایج را برای بسیاری از شهرهایی که در این مطالعه نبودند تسری داد؟ تاثیر هزینه آب چه بود؟
۴. حداقل هزینه‌های سالانه ترکیب گرمایش و سرمایه‌ش در طول کل سال چه مقدار است؟ درصد صرفه‌جویی سالانه نسبت به یک پمپ گرمایی را محاسبه کنید. درصد صرفه‌جویی سالانه نسبت به یک دستگاه تهویه مطبوع ترکیب شده با یک کوره گازسوز را محاسبه کنید. چه تجهیزاتی دارای عمر مفید تخمینی کوتاه‌تر از کولر آبی بودند؟ کدام یک طول عمر بیشتری داشتند؟ کدام یک در سال اول هزینه نگهداری کمتری داشت؟
۵. میزان صرفه‌جویی سالانه چرخه عمر کولرهای آبی، نسبت به دستگاه‌های تهویه مطبوع پر بازده چقدر بود؟ درصد صرفه‌جویی را محاسبه کنید. چه معایب احتمالی در این مطالعه، احتمالاً باعث کاهش مزیت واقعی کولرهای آبی در مطالعه چرخه عمر می‌شوند؟ در ۱۹۷۷، میزان صرفه‌جویی سوخت در اثر استفاده از کولرهای آبی چقدر بود؟
۶. از نظر تبلیغاتی، سه مقایسه‌ای که بین کولرهای تجاری با پد افشانه‌ای (و آبی-پرتابی) با دستگاه‌های تهویه مطبوع مکانیکی شده‌است را ذکر کنید.
۷. ارزان‌ترین هزینه کارکرد مربوط به کدام یک از کولرهای مستقیم است؟ کدام یک گران‌ترین است؟ چرا بقیه آن‌ها مصرف برق بیشتری نسبت به کولر آبی دارند؟ مزیت‌های اضافی آن‌ها چیست؟ کدام یک از کولرهای مستقیم می‌توانند کمترین هزینه نگهداری را داشته باشند؟ چرا ممکن است هزینه‌های مصرف برق آن‌ها بالا باشد؟

۸. چگونه دستگاه‌های سرمایش تبخیری مستقیم و دستگاه‌های برودتی موجب کاهش گرمای محسوس هوای مورد سرمایش خود می‌شوند؟ چرا بهتر است EER های حاصل، توسط هر دو دستگاه، به نام EER سرمایش هوا یا دستگاه نامیده شود؟ آن‌ها چه چیزی را عرضه نمی‌کنند؟ در کدام روش‌های مشابه، هوای تامین شده و هوای شسته شده، فضای اتاق‌ها یا ساختمان را خنک می‌کنند؟ با وجود این که آن‌ها به طور متفاوتی عمل می‌کنند، آیا هر دو دستگاه، گرمای نهان را همچون گرمای محسوس دفع می‌کنند؟ توضیح دهید.

۹. EER های سرمایش اتاق چگونه محاسبه می‌شوند؟ آیا نسبت به EER دستگاه، آن‌ها معیارهای سنجش بهتری، به عنوان بازده هزینه، در سرمایش کلی هستند؟ چرا EER های سرمایش هوا معرف هزینه‌های سرمایش اتاق نیستند؟ چه اتلاف سرمایشی در در کاربرد هوای تامین (تغذیه) شده در اتاق‌ها رخ می‌دهد؟ چرا مقدار آن‌ها با نشتی از ساختمان و استفاده از هوای جبرانی برای تهویه تغییر می‌کند؟

۱۰. چه اتلاف سرمایشی در مجرای گذر هوای شسته شده از میان اتاق‌ها رخ می‌دهد؟ آیا این امر برای ایجاد آسایش ضروری است؟ در **نمودار سرمایش مفید** (به فصل ۱۷ مراجعه کنید)، در هنگامی که افت دمای مرطوب هوای بیرون 30 deg F ($16/7 \text{ deg C}$) و افزایش دمای هوای شسته شده داخلی 7 deg F ($3/8 \text{ deg C}$) است، چه اتلاف هوای شسته شده‌ای رخ می‌دهد؟ چه زمانی افت دمای مرطوب 26 deg F ($14/4 \text{ deg C}$) بوده و هوای شسته شده 269 deg F (5 deg C) دریافت می‌کند؟

۱۱. یک کولر تبخیری مستقیم تجاری، دارای EER ارزیابی شده ۳ به ازای هر $5/7 \text{ deg F}$ EER متریک به ازای هر deg C افت دمای مرطوب است (به فصل ۱۷ مراجعه کنید). برای شهری که میانگین افت دمای مرطوب آن در فصل تابستان برابر با 26 deg F ($14/4 \text{ deg C}$) است، مقدار EER احتمالی را محاسبه کنید. این مقدار را با EER میانگین $8 \text{ (EER متریک } 8/44)$ در سرمایش برودتی تراکمی مقایسه کنید. سیستم اخیر (برودتی تراکمی) از هوای جبرانی زیادی استفاده کرده و در نتیجه ۲۰ درصد هوای تامین شده را از طریق نفوذ به بیرون از دست می‌دهد. سیستم اول (تبخیری مستقیم) به هوای شسته شده اجازه می‌دهد تا قبل از تخلیه، 8 deg F ($3/9 \text{ deg C}$) دریافت کند. EER های سرمایش اتاق و میزان صرفه‌جویی احتمالی در مصرف برق را در سرمایش تبخیری محاسبه کنید.

۱۲. در مقایسه سرمایش مستقیم-غیر مستقیم با سرمایش برودتی چرا مناسب است تا برای استفاده در امر مقایسه، میزان EER سرمایش هوای سیستم اول را ۵۰ درصد کاهش داد؟ چرا می‌توان EER های کولر Pescod را مستقیماً با سرمایش برودتی مقایسه کرد؟ در سرعت فن بالا، درصد صرفه‌جویی در برق را نسبت به سرمایش برودتی با EER برابر ۸ و

اتلاف ۱۰ درصد در هوای تامین شده محاسبه کنید. فرض کنید که سیستم اول نیز دارای ۱۰ درصد اتلاف هوای تامین شده است.

۱۳. یک دستگاه غیر مستقیم لوله‌ای که به شکل‌های مختلف مرحله‌بندی می‌شود، دارای EER پایین در شهر آوستین و بالا در شهر دنور ایالت تگزاس است. شما چه استنباطی درباره اختلاف اقلیم این دو شهر دارید؟ یک چیدمان مرحله‌ای، دارای دمای هوای شسته شده 5 deg F ($2/8 \text{ deg C}$) کمتر از دیگری است. بدون توجه به قابلیت ایجاد آسایش بیشتر، میزان صرفه‌جویی در قیمت دستگاه چقدر است؟

۱۴. بیان کنید که چرا شرکت‌های برق دوست ندارند تا اوج مصرف برق تهویه مطبوع تابستانی خیلی بالاتر از بار میانگین سالانه باشد؟ چگونه در قراردادهای این شرکت‌ها با مصرف‌کنندگان، برای جلوگیری از مصرف بیش از حد، "ماده تضمین" تلاش می‌کند که از این اوج مصرف‌ها ممانعت کند. سرمایه‌ش تبخیری غیرمستقیم چگونه می‌تواند چنین اوج مصرفی را کاهش دهد؟

پیوست ہا

الف-نمودار رطوبت سنجی ASHRAE SI (متریک)

ب- جدول تبدیلات ASHRAE SI (متریک)

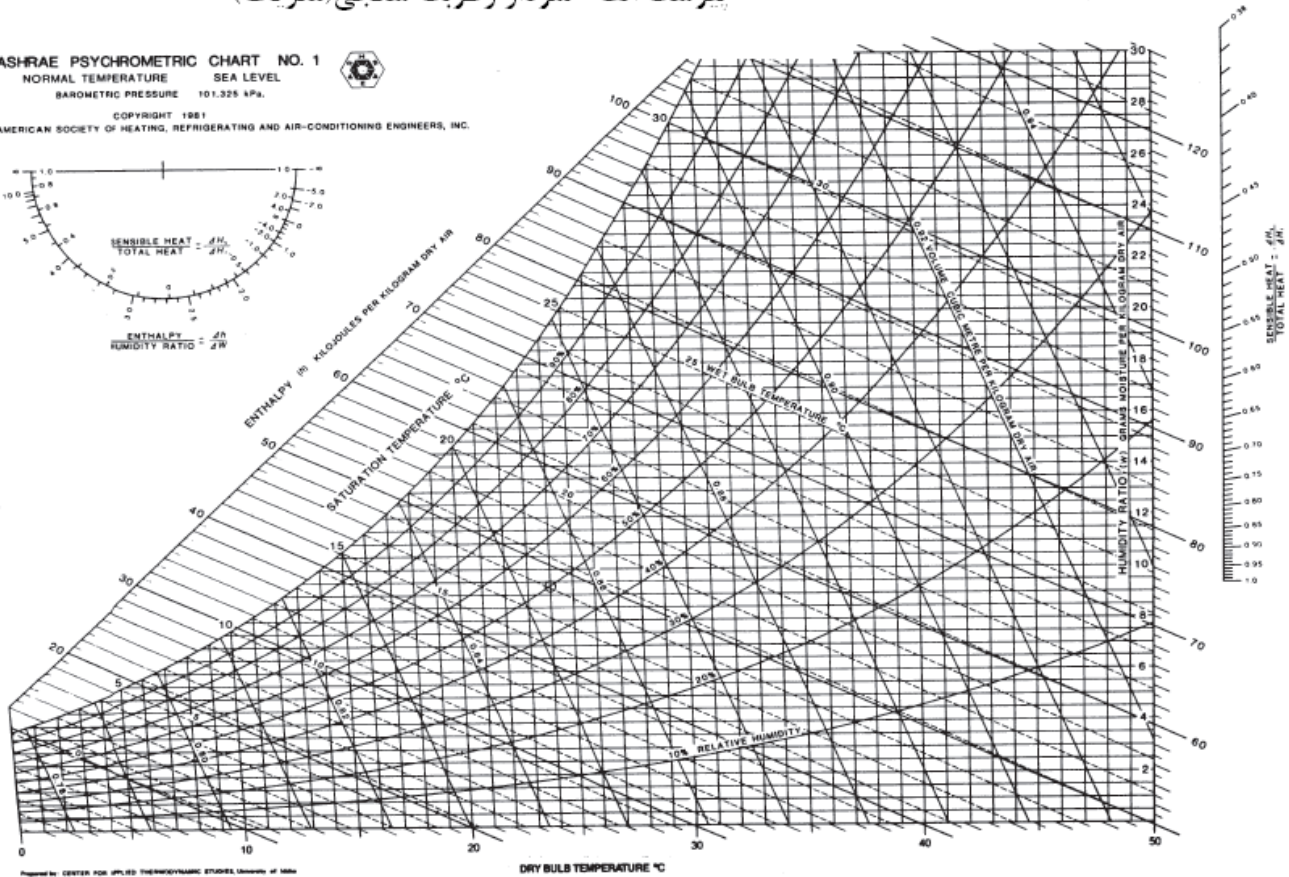
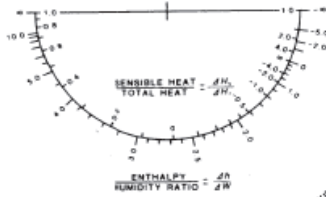
پ-شرح حال

بیوست الف - نمودار رطوبت سنجی (متریک)

ASHRAE PSYCHROMETRIC CHART NO. 1
NORMAL TEMPERATURE
SEA LEVEL
BAROMETRIC PRESSURE 101.325 kPa.



COPYRIGHT 1981
AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC.



Prepared by CENTER FOR APPLIED THERMODYNAMIC STUDIES, University of Idaho

Metric unit psychrometric chart. (Courtesy of the American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers.)

پیوست ب- جدول تبدیلات

تبدیلات SI (Metric)

ASHRAE SI Guide Conversions			1985 Fundamentals Handbook		
	By	To Obtain		By	To Obtain
Multiply			Multiply		
acre	0.405	ha	horsepower (boiler)	9.81	kW
bar	*100	kPa	horsepower (550 ft-lb _f /s)	0.746	kW
barrel (42 US gal, petroleum)	159	L	inch	*25.4	mm
	0.159	m ³	in of mercury (60°F)	3.38	kPa
Btu, IT	1.055	kJ	in of water (60°F)	249	Pa
Btu/ft ³	37.3	kJ/m ³ ; J/L	in/100 ft, thermal expansion	0.833	mm/m
Btu/gal	0.279	kJ/L	in•lb _f (torque or moment)	113	mN•m
Btu•ft/h•ft ² •°F	1.731	W/(m•K)	in ²	645	mm ²
Btu•in/(h•ft ² •°F)			in ³ (volume)	16.4	mL
(thermal conductivity, <i>k</i>)	0.144	W/(m•K)	in ³ /min (SCIM)	0.273	mL/s
		W/(m•°C)	in ³ (section modulus)	16 400	mm ³
Btu/h	0.293	W	in ⁴ (section moment)	416 000	mm ⁴
Btu/ft ²	11.4	kJ/m ²	km/h	0.278	m/s
Btu/y•ft ²	0.000293	kWh/(y•m ²)	kWh	*3.60	MJ
		(not SI)	kWh/(y•ft ²)	0.0388	GJ/(y•m ²)
Btu/(y•ft ²)	0.0000114	GJ/(y•m ²)	kWh/1000 cfm	2.12	J/L
Btu/(h•ft ²)	3.15	W/m ²	kilopond (kg force)	9.81	N
Btu/(h•ft ² •°F)			kip (1000 lb _f)	4.45	kN
(overall heat trans coeff, <i>U</i>)	5.68	W/(m ² •K)	kip/in ² (ksi)	6.89	MPa
(thermal conductance, <i>C</i>)		W/(m ² •°C)	litre	*0.001	m ³
Btu/lb	2.33	kJ/kg	micron of mercury (60°F)	133	mPa
Btu/lb•°F (specific heat, <i>c</i>)	4.19	kJ/(kg•K)	mile	1.61	km
		kJ/(kg•°C)	mile, nautical	1.85	km
bushel	0.0352	m ³	mph	1.61	km/h
calorie, gram	4.19	J	mph	0.447	m/s
calorie, kilogram; kilocalorie	4.19	kJ	millibar	*0.100	kPa
centipoise, viscosity, μ			mm of mercury (60°F)	0.133	kPa
(absolute, dynamic)	*1.00	mPa•s	mm of water (60°F)	9.80	Pa
centistokes, kinematic viscosity, ν	*1.00	mm ² /s	metre of water	9.80	kPa
cost, \$ per square (100 sq ft)	0.108	\$/m ²	ounce (mass, avoirdupois)	28.3	g

تبدیلات SI (Metric) (ادامه)

ASHRAE SI Guide Conversions			1985 Fundamentals Handbook		
cost, \$ per square foot	10.8	\$/m ²	ounce (force or thrust)	0.278	N
cost, \$ per pound	2.20	\$/kg	ounce (liquid, US)	29.6	mL
cost, \$ per ton (refrigeration)	0.284	\$/kW	ounce inch (torque, moment)	7.06	mN•m
dyne/cm ²	*0.100	Pa	ounce (avoirdupois) per gallon	7.49	g/L
EDR hot water (150 Btu/h)	44.0	W	perm (permeance)	57.4	ng/(s•m ² •Pa)
EDR steam (240 Btu/h)	70.3	W	perm inch (permeability)	1.46	ng/(s•m•Pa)
EER	0.293	COP	pint (liquid, US)	473	mL
fuel cost comparison @ 100% eff.			pound		
cents per gallon	0.264	¢/L	lb (mass)	0.454	kg
cents per gallon (no. 2 fuel oil)	0.0677	\$/GJ	lb (mass)	454	g
cents per gallon (no. 6 fuel oil)	0.0632	\$/GJ	lb _f (force or thrust)	4.45	N
cents per gallon (propane)	0.113	\$/GJ	lb/ft (uniform load)	1.49	kg/m
cents per kWh	2.78	\$/GJ	lb _m /(ft•h) viscosity		
cents per therm	0.0948	\$/GJ	(absolute dynamic, μ)	0.413	mPa•s
ft	*0.3048	m	lb _f /(ft•s) viscosity		
ft	*304.8	mm	(absolute, dynamic, μ)	1 490	mPa•s
ft/min, fpm	0.00508	m/s	lb/h	0.126	g/s
ft/s, fps	*0.3048	m/s	lb/min	0.00756	kg/s
ft of water	2.99	kPa	lb of steam per hour @ 212°F		
ft of water per 100 ft pipe	0.0981	kPa/m	(100°C)	0.284	kW
ft ²	0.0929	m ²	lb _f /ft ²	47.9	Pa
ft ² •h•°F/Btu			lb•s/ft ² viscosity		
(thermal resistance, R)	0.176	m ² •K/W	(absolute, dynamic μ)	47 900	mPa•s
		m ² •°C/W	lb/ft ²	4.88	kg/m ²
ft ² /s, kinematic viscosity, ν	92 900	mm ² /s	lb/ft ³ (density, ρ)	16.0	kg/m ³

ft ³	28.3	L	lb/gallon	120	kg/m ³
ft ³	0.0283	m ³	ppm (by mass).....	1.00	mg/kg
ft ³ /h, cfh	7.87	mL/s	psi	6.89	kPa
ft ³ /min, cfm.....	0.472	L/s	quad	1.055	EJ
ft ³ /s, cfs	28.3	L/s	quart (liquid U.S.)	0.946	L
ft•lb _f (torque or moment)	1.36	N•m	square (100 sq ft)	9.29	m ²
ft-lb _f (work)	1.36	J	tablespoon (approximately).....	15	mL
ft-lb _f /lb (specific energy)	2.99	J/kg	teaspoon (approximately)	5	mL
ft-lb _f /min (power).....	0.0226	W	therm (US).....	105.5	MJ
gallon (US, 231 in ³)	3.79	L	ton, long (2 240 lb).....	1.016	t (tonne); Mg
gallon	0.00379	m ³	ton, short (2 000 lb)	0.907	t (tonne); Mg
gph	1.05	mL/s	ton, refrigeration (12 000 Btu/h)	3.52	kW
gpm	0.0631	L/s	torr (1 mm Hg @ 0°C)	133	Pa
gpm/ton ref	0.0179	mL/J	watt per square foot	10.8	W/m ²
grain (1/7000 lb)	0.0648	g	yd	0.9144	m
gr/gal	17.1	mg/L	yd ²	0.836	m ²
gr/lb	0.143	g/kg	yd ³	0.765	m ³
To Obtain	By	Divide	To Obtain	By	Divide

بیوست پ- شرح حال

John Reid Watt در ۱۵ نوامبر ۱۹۱۴ در شهر سیاتل ایالت واشینگتن متولد شد و در سال ۱۹۳۷ کارشناسی خود را در مهندسی مکانیک از دانشگاه واشینگتن دریافت کرد. او در خلال سال‌های ۱۹۳۷ تا ۱۹۳۹ در دانشگاه هاروارد به مطالعه علوم اجتماعی پرداخت و مدرک کارشناسی ارشد خود را در رشته اقتصاد از دانشگاه واشینگتن دریافت کرد. در خلال سال‌های ۴۳-۱۹۴۱ وی در دانشگاه تگزاس در آوستین در این زمینه به تدریس پرداخت و پس از آن تدریس را در زمینه مهندسی مکانیک ادامه داد.

او در زمینه تولید، مدیریت، مهندسی صنایع، گرمایش و تهویه مطبوع، و همچنین تبرید تدریس می‌کرد. او همچنین دو ماشین یخ‌ساز را ابداع کرد که به صورت گسترده‌ای به غذاخوری‌ها فروخته می‌شود. در دهه ۱۹۵۰ او برای نیروی دریایی، در زمینه سرمایه‌گذاری تبخیری و چندین کولر غیر مستقیم به تحقیق پرداخت. در سال ۱۹۵۵ در پروژه "دهکده تهویه مطبوع شده آوستین" وی تعدادی سیستم کوچک را ساخت که امروزه نیز استفاده می‌شوند.

او در ASHRAE به عنوان همکار، در کمیته ملی سرمایه‌گذاری تبخیری فعالیت داشته و کتاب "تهویه مطبوع تبخیری" را در ۱۹۶۳ نوشته و قریب به ۴۰ مقاله منتشر کرد. وی درجه دکترای خود را از دانشگاه تگزاس دریافت کرد و نام وی در فهرست افراد سرشناس مهندسی، مرد علم آمریکا، و افراد سرشناس جنوب و جنوب غربی ایالات متحده (این فهرست Who's Who نام دارد)، درج شده است. او عضو افتخاری Sigma Xi است.

بیماری طولانی مدت همسر اول، وی را به سمت مشکلات مدیریت بیمارستانی سوق داد. او شروع به آموزش مهندسی صنایع در بیمارستان کرده و کتابی را در این زمینه نوشت. در ۱۹۷۱ وی به دانشگاه فنی جورجیا در آتلانتا منتقل شد تا به ایجاد یک برنامه در این زمینه کمک کند. در ۱۹۷۵ وی به عنوان استاد سیستم‌های بهداشتی بازنشسته شد. وی و همسر دومش در آتلانتا زندگی می‌کنند. آن‌ها دارای سه فرزند هستند.

Loren W. Crow همکار مولف فصل ۵ در آیووا متولد شد و قبل از دریافت کارشناسی ارشد در زمینه هواشناسی از موسسه فناوری کالیفرنیا در کالج سیمپسون تحصیل می‌کرد. به عنوان مشاور هواشناسی وی از ۱۹۴۶ عضو ارشد ASHRAE و جامعه هواشناسی آمریکا بوده و همچنین وی رییس شرکت مشاورین Loren W. Crow در شهر دنور است.

Alfred Greenberg همکار فصل ۴ متولد نیویورک و دارای درجات کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک از دانشگاه کلمبیا است. وی مشاور و مولف در حوزه مدیریت انرژی ساختمان بوده و به عنوان یک مدیر تایید شده در زمینه انرژی، عضو ارشد ASHRAE و رییس شرکت Alfred Greenberg در نیویورک است.