روشـــهای تولید و توزیع برودت در سیستم‌هـــای تهویه مطبـــوع

چیلرهای تراکمی و چیلرهای جذبی

مؤلفان:

علیرضا ذوالفقاری

عضو هیات علمی دانشگاه بیرجند

پیمان ابراهیمی ناغانی

عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب

محمدجعفر نیری

سرشناسه: ذوالفقاری، سیدعلیرضا، ۱۳۶۱ -
عنوان و نام پدیدآور: روشهای تولید و توزیع برودت در سیستم‌های تهویه مطبوع/ مولفان علیرضا ذوالفقاری، پیمان ابراهیمی‌ناغانی ، محمدجعفر نیری .
مشخصات نشر: تهران : نوآور.
مشخصات ظاهری: ۴۵۶ ص.
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۳۶۲-۶
وضعیت فهرست نویسی: فیپا
موضوع: تهویه مطبوع
موضوع: Air conditioning
موضوع: سردسازی و دستگاه‌های سردکننده
موضوع: Refrigeration and refrigerating machinery
شناسه افزوده: ابراهیمی‌ناغانی، پیمان، ۱۳۵۴ -
شناسه افزوده: نیری، محمدجعفر، ۱۳۷۲ -
رده بندی کنگره: TH۷۶۸۷ / ۹ر۹ذ ۱۳۹۶
رده بندی دیویی: ۹۳/۶۹۷
شماره کتابشناسی ملی: ۴۹۶۲۶۷۷

روشهای تولید و توزیع برودت در سیستم‌های تهویه مطبوع

مؤلفان: سید علیرضا ذوالفقاری، پیمان ابراهیمی ناغانی، محمدجعفر نیری
ناشر: نوآور
شمارگان: ۵۰۰ نسخه
مدیر فنی: محمدرضا نصیرنیا
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۳۶۲-۶

نشرنوآور

مرکز پخش:

نوآور، تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخررازی، خیابان شهدای ژاندارمری نرسیده به خیابان دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸، طبقه اول، واحد ۳ تلفن: ۹۲ــ ۶۶۴۸۴۱۹۱، www. noavarpub. com

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور می‌باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی‌دی، دی‌وی‌دی، فیلم فایل صوتی یا تصویری و غیره) بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

فـهرست مطالب

پیشگفتار ۷

فصل اول / مقدمه‌ای بر تهویه مطبوع ۹

۱- مقدمه ۹
۱-۱- تعاریف ۹
۱-۱-۱- هوا ۹
۱-۱-۲- مشخصات هوا ۱۲
۱-۱-۳- حرارت محسوس ۱۷
۱-۱-۴- حرارت نهان ۱۷
۱-۱-۵- حرارت کلی ۱۷
۱-۱-۶- ضریب حرارت محسوس ۱۸
۱-۲- سیستمهای تهویه مطبوع ۳۱
۱-۲-۱- منحنی سایکرومتریک ۳۱
۱-۳- سایکرومتریک ۳۷
۱-۳-۱- محورهای مختلف نمودار سایکرومتریک ۴۰
۱-۳-۲- خطوط مختلف نمودار سایکرومتریک ۴۱
۱-۴- اصول سیستم‌های تهویه مطبوع ۴۳
۱-۴-۱- فرایندهای پایه در تهویه مطبوع ۴۴
۱-۴-۲- محاسبه حرارت محسوس و نهان ۴۹
۱-۵- سیکل اکونومایزر ۵۱
۱-۶- سیستم‌های تهویه مطبوع منطقه‌ای ۵۴
۱-۶-۱- سیستم‌های تمام هوا ۵۴
۱-۶-۲- سیستم‌های هوایی – آبی ۵۶
۱-۶-۳- سیستم‌های تمام آبی ۵۶
۱-۶-۴- سیستم‌های تبرید یکپارچه ۵۶
۱-۷- آسایش حرارتی ۵۶
۱-۷-۱- میزان فعالیت ۵۷
۱-۷-۲- لباس ۵۹
۱-۷-۳- انتظارات افراد ۵۹
۱-۷-۴- شرایط آسایش حرارتی ۶۲
۱-۸- مدیریت تحت شرایط کمتر از شرایط ایده‌آل ۶۶
۱-۸-۱- افزایش سرعت هوا ۶۶
۱-۸-۲- کوران ۶۶
۱-۸-۳- اختلاف دمای عمودی ۶۷
۱-۸-۴- دمای سطح زمین ۶۷
۱-۸-۵- سیکل تغییرات دما ۶۷
۱-۸-۶- تغییرات دمای تشعشعی ۶۷
۱-۹- الزامات گروه‌های غیراستاندارد ۶۷
۱-۱۰- منحنی آسایش حرارتی برای تابستان و زمستان ۶۸
۱-۱۰-۱- دمای طرح داخل ۶۸
۱-۱۰-۲- شرایط طرح خارج ۶۹

فصل دوم / معرفی سیستم‌های برودتی ۷۴

۲- معرفی سیستم‌های تبریدی ۷۴
۲-۱-کولر گازی پنجره‌ای ۷۵
۲-۲- اسپلیت یونیت ۸۶
۲-۳- اسپلیت کانالی (داکت اسپلیت) ۹۰
۲-۴- سیستمهای دیجیتالی (VRF) ۹۱
۲-۵- فن کویل ۹۶
۲-۵-۱- اجزای فن‌کویل ۹۸
۲-۵-۲- انواع فن کویل ۹۹
۲-۵-۳- مسئله طراحی سیستم فن کویل و لوله‌کشی آب رفت و برگشت ۱۰۱
۲-۶- چیلر ۱۰۶
۲-۶-۱- چیلر تراکمی (Vapor Compression Chiller) ... ۱۰۶
۲-۶-۲- انتخاب چیلر ۱۱۰
۲-۶-۳- چیلر جذبی (Absorption chiller) ۱۱۸
۲-۶-۴- شباهت‌ها و تفاوت‌های چیلرهای جذبی با چیلرهای تراکمی ۱۱۹
۲-۷- هواساز ۱۲۱
۲-۷-۱- ساختار هواساز ۱۲۱
۲-۷-۲- اجزای هواساز ۱۲۲
۲-۷-۳- قرار گیری اجزا هوارسان ۱۲۹
۲-۷-۴- انتخاب هوارسان ۱۳۰
۲-۷-۵- بهینه سازی مصرف انرژی ۱۳۳
۲-۷-۶- استاندارد عملکرد هواساز ۱۳۳
۲-۷-۷- هواساز هایژنیک ۱۳۷
۲-۸-۸- مکانیزم‌های مختلف هواساز ۱۴۰
۲-۸- سرمایش با سیستم‌های تبخیری ۱۴۴
۲-۸-۱- انواع سیستمهای تبخیری مستقیم ۱۴۶
۲-۸-۲- انتخاب کولر آبی ۱۴۹
۲-۸-۳- ایرواشر ۱۵۳
۲-۸-۴- کاربرد خنک‌کننده‌های تبخیری در ایران ۱۵۷

فصل سوم / مبانی سرمایش تراکمی ۱۵۹

۳- تبرید ۱۵۹
۳-۱- بار برودتی ۱۵۹
۳-۲- عامل سرمایی ۱۵۹
۳-۲-۱- توافق نامه مونترال (سال ۱۹۸۷) ۱۶۰
۳-۳- کاربرد روغن در تبرید ۱۶۱
۳-۴- تبرید به وسیله یخ ۱۶۲
۳-۵- مبردهای مایع ۱۶۴

۳-۶- تبخیر مبرد ۱۶۵
۳-۷- کنترل دمای تبخیر ۱۶۵
۳-۸- ثابت نگه داشتن مقدار مایع در اواپراتور ۱۶۶
۳-۹- بازیابی مبرد ۱۶۷
۳-۱۰- سیستم تبرید تراکمی تبخیری ۱۷۰
۳-۱۱- تقسیم‌بندی سیستم تبرید تراکمی ۱۷۱
۳-۱۲- شیرهای سرویس ۱۷۱
۳-۱۳- واحد تقطیر ۱۷۴
۳-۱۴- کمپرسورهای بسته ۱۷۴
۳-۱۵- تعریف یک سیکل ۱۷۵
۳-۱۶- سیکل تراکمی تبخیری ۱۷۵
۳-۱۷- مرحله تراکم ۱۷۶
۳-۱۸- دمای تخلیه گاز ۱۷۷
۳-۱۹- دمای تقطیر ۱۷۷
۳-۲۰- فشار تقطیر ۱۷۸
۳-۲۱- اثر تبرید ۱۷۸
۳-۲۲- ظرفیت سیستم ۱۸۰
۳-۲۳- جرم مبرد جریانی در سیستم در هر دقیقه ۱۸۱
۳-۲۴- دبی حجمی بخار مبرد ۱۸۱
۳-۲۵- ظرفیت کمپرسور ۱۸۱
۳-۲۶- دیاگرام‌های سیکل ۱۸۳
۳-۲۷- نمودار (دیاگرام) فشار – انتالپی ۱۸۳
۳-۲۸- سیکل تبرید اشباع ساده ۱۸۷
۳-۲۹- فرآیند انبساط ۱۸۸
۳-۳۰- فرآیند تبخیر ۱۸۹
۳-۳۱- فرآیند تراکم ۱۹۰
۳-۳۲- فرآیند تقطیر ۱۹۱
۳-۳۳- ضریب عملکرد ۱۹۳
۳-۳۴- تاثیر دمای مکش بر روی راندمان سیکل ۱۹۵
۳-۳۵- تاثیر دمای تقطیر بر روی راندمان سیکل ۱۹۸
۳-۳۶- تاثیر سوپرهیت شدن بخار مکش ۲۰۰
۳-۳۶-۱- سوپرهیت شدن بخار در لوله مکش خارج از فضای سردشونده ۲۰۲
۳-۳۶-۲- سوپرهیت شدن بخار در داخل فضای سردشونده ۲۰۳
۳-۳۷- تاثیر مادون سرد شدن مایع مبرد ۲۰۳

فصل چهارم / اجزا سیستم تراکمی ۲۰۶

۴- اجزا سیستم تراکمی ۲۰۶
۴-۱- کمپرسور ۲۰۶
۴-۱-۱- انواع کمپرسورها از نظر عملکرد ۲۰۷
۴-۱-۲- کمپرسورها از نظر ساختمان ۲۰۸
۴-۱-۳- کمپرسورهای رفت و برگشتی ۲۰۹
۴-۱-۴- کمپرسورهای پیچی ۲۱۰
۴-۱-۵- کمپرسورهای حلزونی ۲۱۱
۴-۱-۶- روانکاری کمپرسورها ۲۱۲
۴-۱-۷- عملکرد کمپرسور ۲۱۳
۴-۲- جداکننده روغن ۲۱۷
۴-۳- کندانسورها ۲۱۸
۴-۳-۱- سیستمهای کندانسور آبی ۲۱۹
۴-۳-۲- کندانسورهای هوایی ۲۳۸
۴-۴- دریافت‌کننده مایع مبرد ۲۳۹
۴-۵- فیلترها و خشک‌کن‌ها ۲۴۰
۴-۶- شیر سولنوئید (برقی) ۲۴۱
۴-۷- شیر نشان دهنده مایع مبرد به همراه نشانگر رطوبت ۲۴۱
۴-۸- شیرهای انبساط ۲۴۲
۴-۸-۱- تئوری و عمل کرد شیر انبساط ۲۴۲
۴-۸-۲- هفت نوع عمده شیرهای انبساط ۲۴۳
۴-۹- اواپراتورها ۲۵۷
۴-۹-۱- تقسیم‌بندی از نظر ساختمان ۲۵۷
۴-۹-۲- ظرفیت اواپراتور ۲۶۰
۴-۹-۳- اختلاف دما متوسط لگاریتمی (LMTD) ۲۶۱
۴-۹-۴- ضریب کل هدایت حرارتی (U) ۲۶۱
۴-۹-۵- تاثیر سرعت هوای عبوری بر روی ظرفیت اواپراتور ۲۶۲
۴-۹-۶- مساحت جانبی اواپراتور ۲۶۳
۴-۹-۷- لوله کشی اواپراتور ۲۶۳
۴-۹-۸- روش‌های تغذیه مبرد ۲۶۴
۴-۹-۹- اواپراتورهای کنوکسیون طبیعی ۲۶۵
۴-۹-۱۰- اواپراتورهای کنوکسیون اجباری ۲۶۵
۴-۹-۱۱- انتخاب کولرها ۲۶۵
۴-۹-۱۲- اواپراتورهای سردکن مایع ۲۶۶
۴-۹-۱۳- سیستم‌های انبساط مستقیم و غیر مستقیم ۲۶۷
۴-۹-۱۴- مبردهای ثانی ۲۶۷
۴-۹-۱۵- محلول‌های ضد یخ ۲۶۸
۴-۱۰- فیلتر خط مکش ۲۶۸
۴-۱۱- جمع‌آوری‌کننده مایع خط مکش (آکومولاتور) ۲۶۸
۴-۱۲- کنترل فشار(نمایشگرهای فشار بالا و پایین) ۲۶۹

فصل پنجم / چیلر جذبی ۲۷۰

۵-۱- نحوه عملکرد چیلر جذبی ۲۷۲
۵-۲- انواع چیلرهای جذبی ۲۸۰
۵-۲-۱- طبقه‌بندی از نظر ماده مبرد و جاذب ۲۸۱
۵-۲-۲- طبقه‌بندی از نظر چرخه تغلیظ ماده جاذب و مراحل عملیاتی ۲۸۳
۵-۲-۳- طبقه‌بندی از نظر منبع گرمایی عملیات تغلیظ و احیا ۲۸۹
۵-۳- قسمت‌های مختلف چیلر جذبی ۲۹۲

۵-۴- نکات اجرایی چیلر جذبی بر اساس استاندارد ARI560 ۲۹۵
۵-۵- کریستالیزه شدن ۲۹۶

فصل ششم / مبرد ۲۹۹
۶- مبردها ۲۹۹
۶-۱- مبرد چیست؟ ۲۹۹
۶-۲- خواص ایمنی ۲۹۹
۶-۳- سمی‌بودن و قابلیت اشتعال مبرد ۲۹۹
۶-۴- ملاحظات اقتصادی ۳۰۰
۶-۵- نشت مبرد ۳۰۱
۶-۶- مبردهای اولیه ۳۰۱
۶-۷- مبردهای کلروفلوئوروکربن (CFC's) ۳۰۲
۶-۸- هیدروکلروفلوئوروکربنها (HCFC's) ۳۰۲
۶-۹- هیدرفلوئوروکربنها (HFC's) ۳۰۲
۶-۱۰- مبردهای مخلوط ۳۰۲
۶-۱۱- پدیده خزش دما ۳۰۳
۶-۱۲- آمونیاک (R۷۱۷) ۳۰۴
۶-۱۳- هوا (R۷۲۹) ۳۰۵
۶-۱۴- آب ۳۰۵
۶-۱۵- گاز R۱۱ ۳۰۶
۶-۱۶- گاز R۱۲ ۳۰۶
۶-۱۷- گاز R۱۳ ۳۰۶
۶-۱۸- گاز R۲۲ ۳۰۷
۶-۱۹- گاز R۱۱۴ ۳۰۸
۶-۲۰- گاز R۵۰۰ ۳۰۸
۶-۲۱- گاز R۵۰۲ ۳۰۹
۶-۲۲- گاز R۵۰۳ ۳۰۹
۶-۲۳- هیدروکربنها ۳۰۹
۶-۲۴- گاز R۴۱۰A ۳۱۰
۶-۲۵- گاز R۴۰۴A ۳۱۰
۶-۲۶- پتانسیل تخریب مبردهای CFC و HCFC ۳۱۱
۶-۲۷- مبردهای HFC خطرناک برای گرمایش کره زمین ۳۱۱
۶-۲۸- گاز R۶۰۰A ۳۱۲
۶-۲۹- میزان شارژ مبرد ۳۱۵
۶-۲۹-۱- فشار و دمای کارکرد ۳۱۵
۶-۲۹-۲- مزایا و معایب استفاده از مبرد R۶۰۰A ۳۱۶

فصل هفتم / محاسبات بار برودتی ۳۱۷
۷- مقدمه ۳۱۷
۷-۱- بارهای خارجی ۳۱۸
۷-۱-۱- انتقال حرارت هدایت پوسته ساختمان ۳۱۸
۷-۱-۲- تابش نور خورشید بر پنجره‌ها، نورگیرها و ... ۳۱۸
۷-۱-۳- تهویه ساختمان ۳۱۹
۷-۱-۴- نفوذ هوا ۳۱۹
۷-۲- بارهای داخلی ۳۱۹
۷-۲-۱- حضور افراد ۳۱۹
۷-۲-۲- روشنایی ۳۱۹
۷-۲-۳- تجهیزات ۳۱۹
۷-۲-۴- الکتروموتور فن و پمپ‌ها ۳۲۰
۷-۲-۵- بارهای فرعی ۳۲۰
۷-۳- محاسبه بار برودتی ۳۲۰
۷-۳-۱- انتقال حرارت از بام و دیوارهای خارجی ۳۲۰
۷-۳-۲- انتقال حرارت از جدارهای داخلی ۳۲۶
۷-۳-۳- انتقال حرارت از پنجره‌ها ۳۲۷
۷-۳-۴- بار حرارتی ناشی از حضور افراد ۳۳۹
۷-۳-۵- بار حرارتی ناشی از روشنایی ۳۴۱
۷-۳-۶- بار حرارتی تهویه و نفوذ هوا ۳۴۳
۷-۳-۷- بار حرارتی ناشی از تجهیزات ۳۴۴

فصل هشتم / کانال‌کشی ۳۵۲
۸- روش‌های کانال‌کشی ۳۵۲
۸-۱- تقلیل سرعت ۳۵۳
۸-۲- افت فشار ثابت ۳۵۴
۸-۳- روش افت فشار معادل ۳۵۶
۸-۴- بازیافت فشار استاتیکی ۳۵۶
۸-۵- کانال برگشت هوا ۳۵۸
۸-۶- محاسبه ابعاد کانال ۳۵۸
۸-۷- افت فشار دینامیکی ۳۶۳

فصل نهم / ضمائم ۳۷۳
۹- ضمائم ۳۷۳
۹-۱- جداول محاسبات بار برودتی ۳۷۳
۹-۲- شرایط طرح خارج تابستان و زمستان برای شهرهای مختلف ایران ۴۰۲
۹-۳- مبردها ۴۰۶
۹-۴- واحدهای متریک ۴۵۱
۹-۵- تبدیل واحد ۴۵۲
۹-۶- علائم گرافیکی قابل استفاده در نقشه لوله‌کشی ۴۵۴

منابع و مآخذ ۴۵۶

فراخوان مساعدت فرهنگی و علمی

خوانندهٔ فرهیخته و بزرگوار

نشر نوآور ضمن ارج نهادن و قدردانی از اعتماد شما به کتاب‌های این انتشارات، به استحضارتان می‌رساند که همکاران این انتشارات، اعم از مؤلّفان و مترجمان و کارگروه‌های مختلف آماده‌سازی و نشر کتاب، تمامی سعی و همّت خود را برای ارائهٔ کتابی درخور و شایستهٔ شما فرهیختهٔ گرامی به‌کار بسته‌اند و تلاش کرده‌اند که اثری را ارائه نمایند که از حدّاقل‌های استاندارد یک کتاب خوب، هم از نظر محتوایی و غنای علمی و فرهنگی و هم از نظر کیفیّت شکلی و ساختاری آن، برخوردار باشد.

بااین‌وجود، علی‌رغم تمامی تلاش‌های این انتشارات برای ارائهٔ اثری با کمترین اشکال، باز هم احتمال وجود ایراد و اشکال در کار وجود دارد و هیچ اثری را نمی‌توان الزاماً مبرّا از نقص و اِشکال دانست. ازسوی‌دیگر، این انتشارت بنابه تعهّدات حرفه‌ای و اخلاقی خود و نیز بنابه اعتقاد راسخ به حقوق مسلّم خوانندگان گرامی، سعی دارد از هر طریق ممکن، به‌ویژه از طریق فراخوان، به خوانندگان گرامی، ازهرگونه اشکال احتمالی کتاب‌های منتشرهٔ خود آگاه شده و آن‌ها را در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی رفع نماید.

لذا دراین راستا، از شما فرهیختهٔ گرامی تقاضا داریم درصورتی‌که حین مطالعهٔ کتاب با اشکالات، نواقص و یا ایرادهای شکلی یا محتوایی در آن برخورد نمودید، اگر اصلاحات را بر روی خود کتاب انجام داده‌اید پس از اتمام مطالعه، کتاب ویرایش‌شدهٔ خود را با هزینهٔ انتشارات نوآور، پس از هماهنگی با انتشارات، ارسال نمایید، و نیز چنانچه اصلاحات خود را بر روی برگهٔ جداگانه‌ای یادداشت نموده‌اید، لطف کرده عکس یا اسکن برگهٔ مزبور را با ذکر نام و شمارهٔ تلفن تماس خود به ایمیل انتشارات نوآور ارسال نمایید، تا این موارد بررسی شده و در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی کتاب اِعمال و اصلاح گردد و باعث هرچه پربارترشدن محتوای کتاب و ارتقاء سطح کیفی، شکلی و ساختاری آن گردد.

نشر نوآور، ضمن ابراز امتنان از این عمل متعهّدانه و مسئولانهٔ شما خوانندهٔ فرهیخته و گرانقدر، به‌منظور تقدیر و تشکّر از این همدلی و همکاری علمی و فرهنگی، درصورتی‌که اصلاحات درست و بجا باشند، متناسب با میزان اصلاحات، به‌رسم ادب و قدرشناسی، نسخهٔ دیگری از همان کتاب و یا چاپ اصلاح‌شدهٔ آن و نیز از سایر کتب منتشرهٔ خود را به‌عنوان هدیه، به انتخاب خودتان، برایتان ارسال می‌نماید، و درصورتی‌که اصلاحات تأثیرگذار باشند در مقدّمهٔ چاپ بعدی کتاب نیز از زحمات شما تقدیر می‌شود.

همچنین نشر نوآور و پدیدآورندگان کتاب، از پیشنهادها، نظرات، انتقادات و راه‌کارهای شما عزیزان در راستای بهبود کتاب، و هرچه بهتر شدن سطح کیفی و علمی آن صمیمانه و مشتاقانه استقبال می‌نمایند.

نشر نوآور

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

www.noavarpub.com

info@noavarpub.com

پیشگفتار

اگر چه اکنون قریب به دو قرن از پیدایش اولین سیستم‌های تبرید صنعتی سپری شده است، اما هنوز هم هر ساله شاهد رشد صنعت تبرید و سیستم‌های سردسازی در جهان هستیم. امروزه، سیستم‌های تبرید در گستره‌ی وسیعی از کاربردها از جمله تهویه مطبوع خانگی و صنعتی، مراکز نگهداری مواد غذایی، صنایع شیمیایی، صنعت تولید آب شیرین و ... مورد استفاده قرار می‌گیرند. از سوی دیگر، طراحی سیستمهای تبرید و نیز ملزومات انتقال آن مانند لوله‌ها و کانالها، دارای پیچیدگی و ظرافت‌های بخصوصی است که باید مهندسان حرفه‌ای تأسیسات و صنعت تبرید به این موارد توجه نمایند. بر این اساس، سعی شده است تا با توجه به شرایط حاکم بر صنعت تبرید ایران و جهان، موارد و مطالب کاربردی و مفید برای طراحی سیستمهای تبرید و در قالب کتاب حاضر تدوین گردد.

کتاب پیش روی شما، تحت عنوان «روش‌های تولید و توزیع برودت در سیستم‌های تهویه مطبوع» برای استفاده مهندسان و طراحان سیستم‌های تبرید در ۹ فصل تدوین شده است. فصل اول کتاب، تحت عنوان مقدمه‌ای بر تهویه مطبوع، به بیان مقدمه و تعاریف لازم برای ورود به بحث می‌پردازد و در فصل دوم، معرفی سیستمهای برودتی آورده شده است. فصل سوم تشریح مبانی سرمایش تراکمی را در دستور کار قرار می‌دهد و در فصل‌های چهارم و پنجم، اجزاء سیستم چیلر تراکمی و جذبی معرفی شده است. همچنین مبردها و انواع آنها در قالب فصل ششم ارائه شده و نهایتا در فصلهای هفتم و هشتم، مبانی محاسبات بار برودتی و کانال‌کشی به طور مختصر و البته با ذکر مثال‌های مفید ارائه گردیده است. در فصل آخر نیز پیوستهای کاربردی آورده شده است. اگر چه سعی شده است تا اشکالات و نقایص کتاب به حداقل برسد؛ اما بدون شک این کتاب خالی از اشکال نیست. بر این اساس، باعث خوشحالی نویسندگان خواهد بود که خوانندگان ارجمند، نظرات خود را در خصوص کتاب با نویسندگان در میان بگذارند، تا موارد پیشنهادی در ویراست‌های بعدی کتاب مد نظر قرار گیرد.

دکتر سید علیرضا ذوالفقاری
عضو هیأت علمی گروه مهندسی مکانیک دانشگاه بیرجند
و مدیر گروه پژوهشی انرژی در ساختمان و آسایش حرارتی

هشـــدار

کلّیهٔ حقوق چاپ و نشر این کتاب مطـابق بـا قـانون حقـوق مؤلّفـان و مصـنّفان و هنرمنـدان مصوّب سال ۱۳۴۸ و آیین‌نامهٔ اجرایی آن مصوّب ۱۳۵۰، برای ناشر، محفوظ و منحصراً متعلّـق به نشر نوآور است. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از مطالب، اشکال، نمودارها، جداول، یـا تصاویر این کتاب در دیگر کتب، مجلات، نشریات، سایت‌ها و ...، و نیز هر گونـه اسـتفاده از کـل یا قسمتی از کتاب به هر شکل از قبیل چاپ، فتوکپی، اسکن، تایپ از کتاب، تهیّهٔ پی دی اف از کتاب، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به‌صورت اینترنتـی، سـی دی، دی وی دی، فیلم، فایل صوتی یا تصویری و غیره بـدون اجازهٔ کتبی از نشر نوآور ممنوع و غیرقانونی بـوده و **شرعاً نیز حرام** است، و متخلّفین تحت **پیگرد قانونی و قضایی** قرار خواهند گرفت.

با توجّه به اینکه هیچ کتابی از کتب نشر نوآور به‌صـورت فایـل ورد یـا پـی دی اف و مـواردی این‌چنین، توسط این انتشارات در هیچ سایت اینترنتی ارائـه نشـده اسـت، لـذا درصـورتی‌کـه هـر سایتی اقدام به تایپ، اسکن و یا موارد مشابه نماید و کل یا قسمتی از متن کتب نشـر نـوآور را در سایت خود قرار داده و یا اقدام به فروش آن نماید، توسط کارشناسان امور اینترنتی این انتشـارات، که مسئولیّت ادارهٔ سایت را به عهده دارند و به طور روزانه به بررسی محتوای سایت‌ها می‌پردازنـد، بررسی و درصورت مشخص شدن هرگونه تخلّف، ضمن اینکه این کار از نظر قـانونی غیرمجـاز و از نظر شرعی نیز حرام می‌باشد، وکیل قانونی انتشـارات از طریـق وزارت فرهنـگ و ارشـاد اسـلامی، **پلیس فتا** (پلیس رسیدگی به جرایم رایانه‌ای و اینترنتی) و نیـز سـایر مراجـع قـانونی، اقـدام بـه مسدود نمودن سایت متخلّف کرده و طیّ انجام مراحل قانونی و اقدامات قضایی، خاطیـان را مـورد **پیگرد قانونی و قضایی** قرار داده و کلّیهٔ خسارات وارده به این انتشـارات را از وی اخـذ خواهنـد نمود.

همچنین درصورتی‌که هر کتابفروشی، اقدام به تهیّـهٔ کپـی، جـزوه، چـاپ دیجیتـال، چـاپ ریسو، اُفست از کتب انتشارات نوآور نموده و اقـدام بـه فـروش آن نمایـد، ضـمن اطـلاع‌رسـانی تخلّفات کتابفروشی مزبور به سایر همکاران و مُوَزّعین محترم، از طریق وزارت فرهنـگ و ارشـاد اسلامی، اتحادیهٔ ناشران، و انجمن ناشران دانشگاهی و نیـز مراجـع قـانونی و قضـایی اقـدام بـه استیفای حقوق خود از کتابفروشی متخلّف می‌نماید.

خرید، فروش، تهیّه، استفاده و مطالعه از روی نسخهٔ غیراصلِ کتاب،
از نظر قانونی غیرمجاز و شرعاً نیز حرام است.

انتشارات نوآور از خوانندگان گرامی خود درخواست دارد که در صورت مشاهدهٔ هـر گونـه تخلّـف از قبیل مـوارد فـوق، مراتب را یا از طـریق تلفـن‌های انتشارات نـوآور به شماره‌هـای۲- ۶۶۴۸۴۱۹۱ ۰۲۱ و ۰۹۱۲۳۰۷۶۷۴۸ و یا از طریق ایمیل انتشارات بـه آدرس *info@noavarpub.com* و یـا از طریق منوی تماس با ما در سایت *www.noavarpub.com* به این انتشارات ابلاغ نمایند، تا از تضییع حقوق ناشر، پدیدآورنده و نیز خود خواننـدگان محتـرم جلـوگیری بـه‌عمـل آیـد، و نیـز به‌عنوان تشکّر و قدردانی، از کتب انتشارات نوآور نیز هدیه دریافت نمایند

فصل اول

مقدمه‌ای بر تهویه مطبوع

۱- مقدمه

قرن‌هاست که دغدغه بشر، دست‌یابی به بهترین شرایط محیطی و رسیدن به نقطه‌ی آسایش، در محیط کار و زندگی است. این امر، متخصصان و صاحبان نظر را بر این داشته که تحقیقات جامع و گسترده‌ای را در این زمینه به عمل آورند. آنچه در این فصل خدمت مخاطبان گرامی عرضه می‌گردد و بخشی از نتایج حاصله می‌باشد که بلاشک در تنظیم شرایط محیطی مؤثر و کارا خواهند بود. برای ورود به این مبحث لازم است که قبل از بررسی نمودار سایکرومتریک و شرایط آسایش حرارتی، به تعریف برخی از اصطلاحات و مفاهیم پرداخته شود و سپس نمودار سایکرومتریک و شرایط آسایش حرارتی تشریح می‌گردد.

۱-۱- تعاریف

در این بخش به تعریف برخی از مفاهیم پایه می‌پردازیم.

۱-۱-۱- هوا[1]

هوا مخلوطی از گازهای مختلف و بخار آب است. هوای بدون بخار آب را هوای خشک و هوایی که دارای بخار آب است را هوای مرطوب می‌گویند.

۱- هوای خشک[2]:

هوای خشک، مخلوطی است از گازهای مختلف مانند ازت، اکسیژن، آرگون، دی‌اکسیدکربن، هیدروژن و ترکیب گازهای دیگر (مانند متان، دی‌اکسیدگوگرد، کریپتون و غیره). نسبت این گازها در نقاط مختلف، از جمله در شهرها و ارتفاعات مختلف متفاوت است. هوای خشک

1. Air
2. Dry Air

اصطلاحاً قسمت ثابت هوا محسوب می‌شود.

۲- هوای مرطوب[1]:

این نوع هوا علاوه بر گازهای ذکر شده در بالا، دارای مقداری بخار آب است که بطور کلی بنام هوای مرطوب شناخته شده است. مقدار بخار آب موجود در هوا از صفر تا حد اشباع تغییر می‌کند زیرا هوا مانند سایر گازها از تعداد زیادی مولکول با فواصل زیاد تشکیل شده است و زمانی که در مجاورت آب (یا بصورت طبیعی در مجاورت آب رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و یا بصورت مصنوعی در مجاورت دستگاه‌های رطوبت‌زنی تهویه مطبوع) قرار می‌گیرد مولکول‌های آب تبخیر شده، در بین مولکول‌های هوا جای می‌گیرند. این عمل تا زمانی ادامه می‌یابد که دیگر بین مولکول‌های هوا جایی برای بخار آب نباشد یعنی هوا از بخار آب اشباع شده باشد، هر اندازه فشار (در یک دمای ثابت) کمتر و یا دما بالاتر باشد فاصله مولکول‌های هوا بیشتر و لذا میزان قابلیت جذب رطوبت آن بیشتر می‌گردد.

جدول (۱-۱) درصد گازهای تشکیل دهنده هوا را در شرایط استاندارد (هم‌سطح دریا) نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱: درصد گازهای تشکیل دهنده هوا در شرایط استاندارد

گازها	درصد حجمی یا مولی	درصد وزنی	نموداری	جرم مولکولی
N_2	۷۸/۰۳	۷۵/۴۷	$\frac{۴}{۵}$	۲۸/۰۱
O_2	۲۰/۹۹	۲۳/۱۹	$\frac{۱}{۵}$	۳۲
Ar_2	۰/۹۴	۱/۲۹	–	۳۹/۹۱
CO_2	۰/۰۳	۰/۰۵	–	۴۴
H_2 و دیگر گازها	۰/۰۱	۰/۰۰	–	۲/۰۲
هوای خشک	۱۰۰	۱۰۰	۱	۲۹

۱-۱-۱-۱- روابط حاکم بر هوای خشک و مرطوب

قانون‌ها و روابط کاربردی حاکم بر هوای خشک و مرطوب بصورت زیر می‌باشند.

۱- معادله گازهای کامل

$$P.V = n.\overline{R}.T \qquad (۱-۱)$$

که در این رابطه P فشار(پاسکال)، V حجم(متر مکعب)، n تعداد مول‌ها، $\overline{R}$ ثابت جهانی گازهای کامل و T دمای مطلق (کلوین) است. توجه شود که معادله (۱-۱) را بصورت ذیل به دو فرم حجم مخصوص و جرم مخصوص نیز می‌توان نوشت:

1. Moist Air

فرم جرم مخصوص (۱-۲)
$$P = \frac{m}{V} R.T \Rightarrow P = \rho R.T$$

فرم حجم مخصوص (۱-۳)
$$P \times \frac{V}{m} = R.T \Rightarrow PV = RT$$

که در روابط بالا R ثابت گاز است و از نسبت ثابت جهانی گازها، به جرم مولکولی گاز بدست می‌آید. مقدار ثابت گاز برای هوای خشک و بخار آب به صورت زیر است:

ثابت گاز برای هوای خشک (۱-۵)
$$R_a = \frac{\overline{R}}{M_a} = \frac{۸۳۱۴}{۲۹} = ۲۸۷ \frac{J}{kg \times {}^{o}K}$$

ثابت گاز برای بخار آب (۱-۶)
$$R_v = \frac{\overline{R}}{M_{H_۲O}} = \frac{۸۳۱۴}{۱۸} = ۴۶۱ \frac{J}{kg \times {}^{o}K}$$

برای هوای مرطوب معادلات گازهای کامل را به شرطی می‌توان استفاده کرد که قانون (گیبس- دالتون) رعایت شود. طبق این قانون، فشار هوای مرطوب (فشار بارومتریک یا فشار هوای محیط) برابر است با مجموع فشارهای جزئی هوای خشک و فشار جزئی بخار آب موجود در هوا یعنی:

(۱-۷)
$$P = P_a + P_v$$

با داشتن مشخصات هوای خشک و بخار آب، مشخصات هوای مرطوب بصورت زیر بدست می‌آید:

جرم: (۱-۸) $m = m_a + m_v$ جرم مخصوص: (۱-۹) $\rho = \rho_a + \rho_v$

۲- محاسبه فشار جزئی بخار آب (P_v)

در صورتیکه نقطه شبنم در دسترس نباشد فشار جزئی بخار آب را از معادلات متفاوتی می‌توان محاسبه نمود که در اینجا دو معادله مهم آورده می‌شوند.

۱- معادله اپجوان[1]

(۱-۱۰)
$$P_v = P'_s - \frac{۱/۸ P_b (DBT - WBT)}{۲۷۰۰}$$

۲- معادله تری[2]

(۱-۱۱)
$$P_v = P'_s - A \times P_b (DBT - WBT)$$

که در این روابط فشار جو(P_b) بر حسب پاسکال، فشار بخار آب اشباع در دمای مرطوب هوا(P'_s) بر حسب پاسکال، DBT دمای خشک هوا، WBT دمای مرطوب هوا و A ضریب ثابت است که از جدول (۱-۲) بدست می‌آید.

1. Apjohn Equation
2. TRAY Equation

جدول ۱-۲: مقدار **A** برای معادله (۱-۱۱)

مقدار A		
$WBT \le 0^oC$	$WBT \ge 0^oC$	دمای مرطوب
$5/94\times10^{-4}$	$6/66\times10^{-4}$	Sling سایکرومتر گردان
$7/20\times10^{-4}$	$7/99\times10^{-4}$	Screen سایکرومتر بادی

۱-۱-۲- مشخصات هوا[1]

منظور از مشخصات هوا، خواص هوای مرطوب می‌باشد. برای پی بردن به وضعیت یک نمونه هوا و مشخص کردن آن، هفت مشخصه مهم درآن باید تعیین شوند. از این هفت مشخصه، سه مشخصه (دمای خشک، دمای مرطوب و دمای نقطه شبنم) قابل اندازه‌گیری و بقیه (رطوبت مخصوص، درجه رطوبت، حجم مخصوص، آنتالپی و غیره...) غیرقابل اندازه‌گیری هستند و باید با استفاده از روابط حاکم محاسبه شوند. مهم‌ترین مشخصات هوا عبارتند از:

۱- دمای خشک، ۲- دمای مرطوب، ۳- نقطه شبنم، ۴- رطوبت، ۵- آنتالپی، ۶- انحراف آنتالپی و ۷- حجم مخصوص

که در زیر به تشریح هر کدام از آنها پرداخته می‌شود.

۱-۱-۲-۱- درجه حرارت خشک هوا[2]

دمای خشک همان دمای حقیقی هوا می‌باشد یعنی درجه حرارت هوای مخلوط با بخار آب که هیچگونه رطوبت و تشعشع حرارتی اضافه روی آن تأثیر نگذاشته باشد و با استفاده از دماسنج قابل اندازه‌گیری است.

۱-۱-۲-۲- درجه حرارت هوای مرطوب[3]

هرگاه مخزن دماسنج معمولی با پنبه یا پارچه‌ای مرطوب پوشانده شود و مدتی در مقابل جریان هوا نگه داشته شود و مرتباً توسط قطره‌چکان، پارچه یا پنبه مرطوب شود طوری که خیس باقی بماند، ملاحظه می‌شود جیوه در ترمومتر پایین آمده و در یک ارتفاع و درجه معین متوقف می‌گردد. دمای خوانده شده، درجه حرارت مرطوب هوا است که با مقایسه با دمای خشک آن همیشه کمتر است. توجه شود که این فرایند آدیاباتیک است یعنی هیچگونه گرمایی از منبع خارجی به آنها داده نمی‌شود و اتلاف تشعشعی نیز ناچیز و قابل صرف‌نظر کردن می‌باشد. اندازه‌گیری دمای مرطوب عملاً با

1. Psychrometric Properties
2. Dry Bulb Temperature (D.B.T)
3. Wet Bulb Temperature (W.B.T)

چرخاندن دماسنج مرطوب در هوا با سرعتی معین یا دمیدن مصنوعی هوا بر دماسنج انجام می‌گیرد. در این حالت، بعلت برخورد هوا روی پنبه مرطوب، آب آن تبخیر شده (گرمای لازم برای این فرآیند از دماسنج گرفته می‌شود لذا دمای آن پایین می‌آید) و دائماً درصد رطوبت هوای مجاور مخزن اضافه می‌گردد و این عمل تا جائی ادامه پیدا می‌کند که فیلم هوای اطراف مخزن به حد اشباع برسد. در این وضعیت دیگر تبخیر صورت نگرفته و دمای مخزن جیوه بیشتر از این حد پائین نمی‌رود. دمای هوای مرطوب را می‌توان بطور تقریب از رابطه (۱-۱۲) با داشتن دمای خشک و رطوبت نسبی محاسبه کرد.

$$WBT = DBT - (1 - RH)(۴/۵ + ۰/۳۵DBT) \qquad (۱-۱۲)$$

که در این رابطه WBT دمای مرطوب (^oC)، DBT دمای خشک هوا (^oC) و RH رطوبت نسبی (درصدی) می‌باشد.

به اختلاف بین دمای خشک و دمای مرطوب هوا، تنزیل دمای مرطوب هوا[1] گفته می‌شود. بنابراین:

$$WBD = DBT - WBT \qquad (۱-۱۳)$$

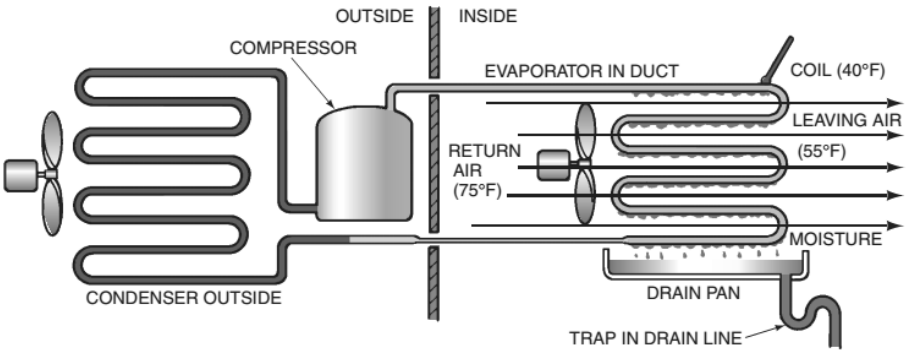
تنزیل دمای مرطوب بستگی به خشکی و مرطوب بودن هوا دارد. یعنی هرچه هوا خشک‌تر باشد میزان آن بیشتر و هرچه مرطوب‌تر باشد مقدار آن کمتر است، تنزیل دمای مرطوب، مقیاسی برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی هوا می‌باشد.

۱-۱-۲-۳- دمای نقطه شبنم هوا[2]

اگر هوای مرطوب غیراشباعی را بدون افزایش و یا کاهش رطوبت آن، در فشار ثابت، سرد کنیم (دما را کاهش دهیم) زمانی که به دمای مشخصی می‌رسد، رطوبت موجود در هوا شروع به تشکیل قطرات ریز آب (عرق) می‌نماید. این دما را دمای نقطه شبنم می‌گویند، در این حالت رطوبتی از خارج به هوا زده نشده و گرفته نخواهد شد و فقط مسئله سرد کردن مطرح است. دمای شبنم هوا در تهویه مطبوع در سطوح سرد و کویل‌های سرمائی که دمای هوا کاهش پیدا می‌نماید حائز اهمیت است. بطور مثال در اثر سرد شدن هوا ممکن است در سطح کویل‌های سرمایی (مانند کولرهای گازی)، شبنم بوجود آید که خود مانند عایقی عمل نموده و راندمان دستگاه را کاهش می‌دهد. نقطه شبنم هوا را عملاً بوسیله سرد کردن ترمومتر با وسایل مختلف انجام می‌دهند و وقتی که اولین ذره رطوبت روی آن تشکیل گردید آن دما، دمای نقطه شبنم است. باید توجه داشت وقتی هوا به حالت کاملاً درآید دمای خشک و مرطوب، نقطه شبنم یکی می‌شود و در این حالت فشار جزئی بخار آب برابر فشار بخار اشباع خواهد شد.

1. Wet Bulb Decrease (W.B.D)
2. Dew Point Temperature (DPT)

مثال‌هایی از نقطه شبنم:



شکل ۱-۱

شکل ۱-۲

۱-۱-۲-۴- رطوبت[1]

میزان رطوبت موجود در هوای یک محفظه تاثیر زیادی بر راحتی ساکنین دارد. به همین دلیل در تهویه مطبوع، مسئله میزان رطوبت و تنظیم آن و در نتیجه ساخت دستگاه‌های رطوبت زن و رطوبت‌گیر و غیره مطرح می‌گردد. مفاهیمی که در ارتباط با رطوبت مطرح می‌شوند عبارتند از رطوبت مطلق، رطوبت مخصوص، درجه اشباع و رطوبت نسبی که در زیر به تعریف هر یک از این مفاهیم می‌پردازیم.

1. Humidity