

# شرح ودرس آزمون‌های نظام مهندسی تأسیسات مکانیکی جلد اول

## ویژه آزمون‌های نظام مهندسی

حاوی مطالب اصلی منابع آزمون نظام مهندسی  
ارائه نکات کلیدی و کاربردی، حل مسائل مفهومی  
و تشریحی و ارائه توضیحات لازم، حاوی نکات کلیه  
بخش‌های نشریه ۱۲۸ سازمان برنامه و بودجه  
مناسب برای داوطلبان آزمون کارشناس رسمی

مؤلفان: مهندس پیمان ابراهیمی

مدرس رسمی سازمان نظام مهندسی

عضو هیأت علمی دانشگاه

آزاد اسلامی واحد تهران غرب

مهندس فاطمه رسولی

مهندس محمد حسین اکباتان



سرناسه:  
عنوان و نام پدیدآور:  
مشخصات نشر:  
مشخصات ظاهری:  
شابک:  
وضعیت فهرست نویسی:  
یادداشت:  
یادداشت:  
شناسه افزوده:  
شماره کتابشناسی ملی:

ابراهیمی ناغانی، پیمان، ۱۳۵۴ -  
شرح و درس آزمون‌های نظام مهندسی تأسیسات مکانیکی: ویژه آزمون‌های نظام مهندسی...  
تهران: نوآور، ۱۳۹۵.  
۲۸۸ ص؛ ۲۹×۲۲ س.م.  
۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۲۷۹-۷  
فیپای مختصر  
فهرست‌نویسی کامل این اثر در نشانی: <http://opac.nlai.ir> قابل دسترسی است  
چاپ سوم.  
رسولی، فاطمه، ۱۳۶۷ -  
۴۵۵۸۲۷۶

## شرح و درس آزمون‌های نظام مهندسی تأسیسات مکانیکی جلد اول

مؤلفان: مهندس پیمان ابراهیمی، مهندس فاطمه

رسولی، مهندس محمد حسین اکباتان

ناشر: نوآور

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

مدیر فنی: محمدرضا نصیرنیا

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۲۷۹-۷



نشر نوآور

مرکز پخش:

نوآور، تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخررازی، خیابان شهدای  
ژاندارمری‌نرسیده به خیابان دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸،  
طبقه دوم، واحد ۶ تلفن: ۹۲-۶۶۴۸۴۱۹۱، [www.noavarpub.com](http://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.

لطفاً جهت دریافت الحاقات و اصلاحات احتمالی این کتاب به سایت انتشارات نوآور مراجعه فرمایید.

[www.noavarpub.com](http://www.noavarpub.com)

<https://telegram.me/noavarpub>

<https://www.instagram.com/noavarpub/>

نشر نوآور ضمن ارج نهادن و قدردانی از اعتماد شما به کتاب‌های این انتشارات، به استحضارتان می‌رساند که همکاران این انتشارات، اعم از مؤلفان و مترجمان و کارگروه‌های مختلف آماده‌سازی و نشر کتاب، تمامی سعی و همت خود را برای ارائه کتابی درخور و شایسته شما فرهیخته گرامی به کار بسته‌اند و تلاش کرده‌اند که اثری را ارائه نمایند که از حداقل‌های استاندارد یک کتاب خوب، هم از نظر محتوایی و غنای علمی و فرهنگی و هم از نظر کیفیت شکلی و ساختاری آن، برخوردار باشد.

با این وجود، علی‌رغم تمامی تلاش‌های این انتشارات برای ارائه اثری با کمترین اشکال، باز هم احتمال بروز ایراد و اشکال در کار وجود دارد و هیچ اثری را نمی‌توان الزاماً مبرا از نقص و اشکال دانست. از سوی دیگر، این انتشارات بنابه تعهدات حرفه‌ای و اخلاقی خود و نیز بنابه اعتقاد راسخ به حقوق مسلم خوانندگان گرامی، سعی دارد از هر طریق ممکن، به‌ویژه از طریق فراخوان به خوانندگان گرامی، از هرگونه اشکال احتمالی کتاب‌های منتشره خود آگاه شده و آن‌ها را در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی رفع نماید.

لذا در این راستا، از شما فرهیخته گرامی تقاضا داریم در صورتی که حین مطالعه 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 ویرایش شده خود را با هزینه انتشارات نوآور، پس از هماهنگی با انتشارات، ارسال نمایید، و نیز چنانچه اصلاحات خود را بر روی برگه جداگان‌های یادداشت نموده‌اید، لطف کرده عکس یا اسکن برگه مزبور را با ذکر نام و شماره تلفن تماس خود به ایمیل انتشارات نوآور ارسال نمایید، تا این موارد بررسی شده و در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی کتاب اعمال و اصلاح گردد و باعث هرچه پربارتر شدن محتوای کتاب و ارتقاء سطح کیفی، شکلی و ساختاری آن گردد.

نشر نوآور، ضمن ابراز امتنان از این عمل متعهدانه و مسئولانه شما خواننده فرهیخته و گرانقدر، به‌منظور تقدیر و تشکر از این همدلی و همکاری علمی و فرهنگی، در صورتی که اصلاحات درست و بجا باشند، متناسب با میزان اصلاحات، به‌رسم ادب و قدرشناسی، نسخه دیگری از همان کتاب و یا چاپ اصلاح‌شده آن و نیز از سایر کتب منتشره خود را به‌عنوان هدیه، به انتخاب خودتان، برایتان ارسال می‌نماید، و در صورتی که اصلاحات تأثیرگذار باشند در مقدمه چاپ بعدی کتاب نیز از زحمات شما تقدیر می‌شود.

همچنین نشر نوآور و پدیدآورندگان کتاب، از هرگونه 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](http://www.noavarpub.com)

[info@noavarpub.com](mailto:info@noavarpub.com)

# فهرست مطالب

۹	مقدمه
۱۱	<b>فصل اول / سایکرومتریکی</b>
۱۱	(۱-۱) هوا
۱۱	(۲-۱) معادله گازهای کامل
۱۲	(۳-۱) مشخصات هوا
۱۲	(۱-۳-۱) درجه حرارت خشک هوا
۱۲	(۲-۳-۱) درجه حرارت هوای مرطوب
۱۲	(۳-۳-۱) دمای نقطه شبنم هوا
۱۲	(۴-۳-۱) رطوبت
۱۳	(۴-۱) آنتالپی هوا
۱۷	(۵-۱) سایکرومتریکی
۲۰	(۶-۱) فرایندهای پایه در تهویه مطبوع
۲۲	(۷-۱) مشخصات جریان:
۲۶	<b>فصل دوم / انتقال حرارت و تهویه مطبوع</b>
۲۶	(۱-۲) واحدهای اندازه گیری گرما
۲۶	(۲-۲) ظرفیت حرارتی - گرمای ویژه
۲۶	(۳-۲) انتقال حرارت
۲۷	(۴-۲) انتقال حرارت از طریق هدایت
۲۸	(۶-۲) انتقال حرارت تابشی (تشنشعی)
۲۸	(۷-۲) انتقال حرارت ناشی از جابجایی سیال
۲۸	(۸-۲) ضریب انتقال حرارت کلی
۳۰	(۹-۲) اتلاف حرارتی ساختمان (بار حرارتی)
۳۱	(۱۰-۲) تلفات حرارت به روش هدایت
۳۱	(۱۱-۲) درجه حرارت هوای طرح داخل و خارج ساختمان
۳۱	(۱۲-۲) تلفات حرارتی در اثر تعویض هوا
۳۲	(۱۳-۲) راههای نفوذ هوا:
۳۳	(۱۴-۲) (ب-۱) روش درزی
۳۳	(۱۵-۲) (ب-۲) روش حجمی
۳۴	(۱۶-۲) اختلاف بار گرمایی و سرمایی:
۳۴	(۱۷-۲) بار برودتی
۳۷	<b>فصل سوم / چیلر</b>
۳۷	(۱-۳) تعریف تن برودت
۳۷	(۲-۳) انتخاب نوع سیستم (System selection)
۳۸	(۳-۳) انواع مختلف کمپرسورها
۳۸	(۴-۳) انواع کندانسور
۳۹	(۵-۳) سیکل تراکمی تبرید

۴۱	..... (۶-۳) انواع برجهای خنک کن
۴۳	..... (۷-۳) آب کمکی (make - up or bleed - of)
۴۳	..... (۸-۳) میردهای جذبی (Absorption Chillers)
۴۴	..... (۹-۳) چیلر جذبی
۴۷	..... (۱۰-۳) انواع چیلر:
۴۹	..... (۱۱-۳) نکات تبریدی از مبحث ۱۴:

## ۵۱ ..... فصل چهارم / حرارت مرکزی

۵۱	..... (۱-۴) مقدمه
۵۱	..... (۲-۴) انواع سیستم حرارت مرکزی
۵۲	..... (۳-۴) انواع سیستمهای حرارت مرکزی با آب گرم
۵۲	..... (۴-۴) اجزای سیستم حرارت مرکزی آب گرم
۵۲	..... (۵-۴) تله بخار
۵۳	..... (۶-۴) دیگ
۵۴	..... (۷-۴) دیگهای چدنی
۵۴	..... (۸-۴) مزایای دیگهای چدنی
۵۵	..... (۹-۴) معایب دیگهای چدنی
۵۵	..... (۱۰-۴) دیگهای فولادی
۵۵	..... (۱۱-۴) مزایای دیگهای فولادی
۵۵	..... (۱۲-۴) معایب دیگهای فولادی
۵۶	..... (۱۳-۴) انتخاب دیگ
۵۷	..... (۱۴-۴) فاصله اطراف دستگاه
۵۷	..... (۱۵-۴) لوازم اندازه گیری روی دیگها
۵۸	..... (۱۶-۴) تقسیم بندی مشعلها
۵۸	..... (۱۷-۴) ارزش حرارتی سوخت
۵۸	..... (۱۸-۴) انتخاب مشعل بر اساس مصرف سوخت
۶۰	..... (۱۹-۴) محاسبه ظرفیت مخزن سوخت روزانه
۶۰	..... (۲۰-۴) محاسبه ظرفیت مخزن اصلی
۶۰	..... (۲۱-۴) نکات برتر مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان (مخازن سوخت)
۶۲	..... (۲۲-۴) محاسبه و انتخاب دودکش
۶۲	..... (۲۳-۴) نکات برتر مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان (دودکش)

## ۷۷ ..... فصل پنجم / منبع انبساط

۷۷	..... (۱-۵) منبع انبساط
۷۷	..... (۲-۵) لوله کشی منبع انبساط باز
۷۸	..... (۳-۵) محاسبه حجم منبع انبساط بر اساس افزایش حجم آب
۷۹	..... (۴-۵) محاسبه قطر لوله های رفت و برگشت منبع انبساط باز
۸۰	..... (۵-۵) منبع انبساط بسته
۸۰	..... (۶-۵) محاسبه منبع انبساط بسته
۸۱	..... (۷-۵) مزایای منبع انبساط بسته
۸۱	..... (۸-۵) کلکتور

۸۳	فصل ششم / پمپ
۸۳	(۱-۶) پمپ
۸۳	(۲-۶) هد
۸۳	(۳-۶) منحنی عملکرد پمپ‌گریز از مرکز
۸۳	(۴-۶) نقطه عملکرد پمپ
۸۴	(۵-۶) محاسبه هد پمپ‌های سیرکولاتور
۸۴	(۶-۶) محاسبه دبی پمپ‌های سیرکولاتور
۸۶	(۷-۶) موازی کردن پمپ‌ها
۸۶	(۸-۶) نقطه عملکرد پمپ‌های موازی
۸۷	(۹-۶) سری کردن پمپ‌ها
۸۷	(۱۰-۶) نقطه عملکرد پمپ‌های سری
۸۸	(۱۱-۶) کاویتاسیون
۸۸	(۱۲-۶) ارتفاع مکش مثبت خالص (NPSH)
۸۹	(۱۳-۶) روابط تشابهی حاکم بر پمپ‌ها
۹۰	(۱۴-۶) محاسبه توان مفید، توان مصرفی، توان الکترو موتور
۹۲	(۱۵-۶) کنترل جریان آب
۹۳	(۱۶-۶) شیرهای تعادل کنترل جریان
۹۴	(۱۷-۶) شیرهای کنترل خودکار
۹۴	(۱۸-۶) رابطه دبی عبوری از شیرها با درصد بالا آمدن ساقه شیر (باز شدن شیر):
۹۵	(۱۹-۶) ضریب جریان شیر
۹۶	فصل هفتم / لوله‌کشی
۹۶	(۱-۷) مراحل طراحی شبکه لوله‌کشی حرارت مرکزی
۹۶	(۲-۷) انواع لوله‌ها مورد استفاده در سیستم‌های گرمایش و سرمایش:
۹۷	(۳-۷) انتخاب وصاله (فیتینگ)
۹۷	(۴-۷) انتخاب شیر
۹۸	(۵-۷) شبکه لوله‌کشی یک لوله‌ای
۹۸	(۶-۷) شبکه لوله‌کشی سری
۹۸	(۷-۷) شبکه لوله‌کشی یک لوله‌ای انشعابی
۹۹	(۸-۷) شبکه لوله‌کشی دو لوله‌ای
۹۹	(۹-۷) لوله‌کشی با برگشت مستقیم
۱۰۰	(۱۰-۷) لوله‌کشی با برگشت معکوس
۱۰۱	(۱۱-۷) لوله‌کشی مختلط
۱۰۳	(۱۲-۷) تعیین قطر لوله‌های سیستم حرارت مرکزی
۱۰۴	(۱۳-۷) تکیه‌گاه (بست)
۱۰۵	(۱۴-۷) شرایط آزمایش
۱۰۵	(۱۵-۷) لزوم عایق کاری
۱۱۱	فصل هشتم / بادزن‌ها
۱۱۱	(۱-۸) بادزن‌ها
۱۲۱	(۲-۸) قوانین بادزن‌ها:
۱۲۲	(۳-۸) هوارسان

۱۲۶	..... (۴-۸) کانال‌ها
۱۲۶	..... (۵-۸) کانال‌های هوا از نظر فشار هوای عبوری
۱۲۷	..... (۶-۸) طرح و محاسبه سیستم کانال:
۱۲۸	..... (۷-۸) قطر وشعاع هیدرولیکی کانال
۱۲۸	..... (۸-۸) محاسبه ابعاد کانال‌ها
۱۲۹	..... (۹-۸) طراحی شبکه کانال
۱۲۹	..... (۱۰-۸) انواع دریچه‌های هوا:
۱۲۹	..... (۱۱-۸) کانال کشی در خارج ساختمان
۱۲۹	..... (۱۲-۸) ساخت و نصب کانال
۱۳۰	..... (۱۳-۸) عبور کانال از بام ساختمان
۱۳۳	..... (۱۴-۸) دهانه‌های ورود یا تخلیه هوا
۱۳۶	..... (۱۵-۸) انواع
۱۳۸	..... (۱۶-۸) ساخت و نصب
۱۴۰	..... (پ) دریچه‌های سقفی (CEILING DIFFUSER)
۱۴۷	..... (۱۷-۸) آویز و بست کانال
۱۵۰	..... (۱۸-۸) اتصال به کانال
۱۵۳	..... (۱۹-۸) اجزای آویز
۱۵۵	..... (۲۰-۸) عایق کاری کانال هوا
۱۵۵	..... (۲۱-۸) نکات مهم کانال کشی مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان
<b>۱۶۱</b>	<b>..... فصل نهم / تاسیسات بهداشتی</b>
۱۶۱	..... (۱-۹) آبرسانی
۱۷۶	..... (۲-۹) سیستم فاضلاب
۱۸۵	..... (۳-۹) هواکش
۱۹۱	..... (۴-۹) آب باران
۱۹۴	..... (۵-۹) سایر نکات طراحی و اجرا
<b>۲۰۵</b>	<b>..... فصل دهم / لوله‌کشی گاز طبیعی</b>
۲۰۵	..... (۱-۱۰) تعاریف و مقررات کلی
۲۰۶	..... (۲-۱۰) طراحی لوله‌کشی گاز و انتخاب مصالح
۲۱۲	..... (۳-۱۰) اجرای لوله‌کشی گاز طبیعی
۲۱۴	..... (۴-۱۰) آزمایش، بازرسی، در سیستم لوله‌کشی گاز
۲۱۵	..... (۵-۱۰) نصب وسایل گازسوز و دود کش
۲۱۶	..... (۶-۱۰) دودکش‌های دستگاه‌های گازسوز ساختمان‌ها
<b>۲۴۰</b>	<b>..... فصل یازدهم / تأمین هوای احتراق</b>
۲۴۰	..... (۱-۱۱) تأمین هوای احتراق
۲۴۵	..... (۲-۱۱) محل نصب دستگاه‌ها
<b>۲۴۸</b>	<b>..... فصل دوازدهم / بر گرفته از مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان</b>
۲۴۸	..... (۱-۱۲) تعاریف
۲۴۸	..... (۲-۱۲) عوامل ویژه‌ی اصلی و گروه‌بندی ساختمان‌ها

۲۴۹	.....	(۳-۱۲) گروه‌بندی ساختمان‌ها از نظر میزان صرفه جویی در مصرف انرژی
۲۵۰	.....	(۴-۱۲) روش‌های طراحی پوسته‌ی خارجی ساختمان
۲۵۰	.....	(۵-۱۲) تأسیسات مکانیکی
۲۵۱	.....	(۶-۱۲) تأسیسات سرمایش و گرمایش
۲۵۲	.....	(۷-۱۲) عایق کاری حرارتی لوله‌ها
۲۵۴	.....	(۸-۱۲) سیستم‌های تهویه
۲۵۴	.....	(۹-۱۲) تأسیسات آب گرم مصرفی
۲۵۵	.....	(۱۰-۱۲) عایق کاری حرارتی لوله و مخزن
۲۵۵	.....	(۱۱-۱۲) سیستم‌ها و تجهیزات روشنایی

### فصل سیزدهم / آسانسورها و پله‌های برقی

۲۵۹	.....	(۱-۱۳) تعاریف
۲۶۰	.....	(۲-۱۳) آسانسور
۲۶۳	.....	(۳-۱۳) پلکان برقی و پیاده رو متحرک

### فصل چهاردهم / مبحث بیست و یکم مقررات ملی ساختمان

۲۶۷	.....	(۱-۱۴) مفاهیم
۲۶۷	.....	(۲-۱۴) پناهگاه
۲۶۷	.....	(۳-۱۴) سطوح عملکرد ساختمان‌ها
۲۶۷	.....	(۴-۱۴) گروه‌بندی ساختمان‌ها
۲۶۷	.....	(۵-۱۴) بارهای ناشی از انفجار
۲۶۸	.....	(۶-۱۴) طراحی حجم ساختمان
۲۶۸	.....	(۷-۱۴) اجزای غیرسازه‌ای
۲۶۸	.....	(۸-۱۴) موج ضربه
۲۶۹	.....	(۹-۱۴) موج فشار
۲۶۹	.....	(۱۰-۱۴) ضوابط روش مقاومت کلافی
۲۷۰	.....	(۱۱-۱۴) تأسیسات فاضلاب
۲۷۰	.....	(۱۲-۱۴) تأسیسات آتش‌نشانی
۲۷۰	.....	(۱۳-۱۴) زیرساخت‌های تأسیساتی در محوطه
۲۷۰	.....	(۱۴-۱۴) آسانسورهای اضطراری

### پیوست / رابطه‌ها

### جداول

### منابع و ماخذ



مهندس پیمان ابراهیمی ناغانی فارغ‌التحصیل مقطع کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک (گرایش تبدیل انرژی) در سال ۷۸ بوده و در حال حاضر در مقطع دکتری مهندسی مکانیک در حال تحصیل می‌باشد. ایشان با بیش از ۱۸ سال سابقه تدریس دانشگاهی هم‌اکنون عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی تهران غرب بوده و در دوره‌های مختلف به تدریس دروس متعدد آمادگی آزمون نظام مهندسی (رشته تاسیسات مکانیکی) کلاسهای ارتقاء پایه نظام مهندسی در رشته مهندسی مکانیک، مشاوره، طراحی و نظارت در رشته تاسیسات مکانیکی از قبیل طراحی موتورخانه، طراحی استخر، سونا و جکوزی، طراحی HVAC مقدماتی و پیشرفته، طراحی سیستم‌های آب‌رسانی و فاضلاب و چیلر و برج‌های خنک‌کن و... فعالیت داشته‌اند. کتابی که پیش رو دارید مجموعه‌ای کامل از نکات مهم کاربردی و محاسباتی در صنعت تاسیسات ساختمان بوده که بصورت گام به گام نسبت به تشریح موارد مهم طراحی پرداخته است. لازم به ذکر است که امکان برگزاری کلاسهای آموزشی جهت شرکت‌های خصوصی و دولتی بصورت انفرادی و گروهی توسط ایشان نیز وجود دارد. که در این خصوص می‌توانید با انتشارات نوآور تماس بگیرید.

با توجه به نحوه سوالات آزمون نظام مهندسی در سال‌های اخیر و جهت‌گیری این سوالات به سمت و سوی مفهومی بودن، برآن شدیم تا یک کتاب مرجع و قابل اتکا برای داوطلبان عزیز تهیه و ارائه نماییم. در این کتاب مطالب و نکاتی آورده شده است که هر کسی می‌تواند با مطالعه آنها و حل مسائل و مثال‌های کاربردی قید شده در کتاب، خود را برای آزمون نظام مهندسی رشته تاسیسات آماده کند و تا درصد بسیار بالایی قبولی در این آزمون را برای خود تضمین نماید. یقیناً مطالعه مباحث مقررات ملی ساختمان و ۶ بخش نشریه ۱۲۸ سازمان برنامه و بودجه می‌بایست جز اولین منابع مورد مطالعه برای داوطلبین باشد اما در این کتاب سعی شده است که کلیه نکات فنی، اجرایی و طراحی مورد نیاز برای آزمون نظام مهندسی و حتی کارشناس رسمی تاسیسات، دیده شود. لذا داوطلبین می‌توانند ابتدا با مطالعه مراجع ذکر شده وارد مطالعه این کتاب گردند و کلیه موارد آموزشی مورد نیاز آزمون را در ذهن خود تثبیت نمایند. لازم به ذکر است که برای حل مثال‌های بیشتر و آشنایی با نحوه آزمون نیز در کنار این کتاب می‌توان به جلد دوم و سوم همین کتاب مراجعه کرد. این کتاب به شما جهت آموزش و دریافت مسائل تاسیساتی آزمون نظام مهندسی و کارشناس رسمی کمک میکند و دو کتاب دیگر نیز در راستای حل مسائل آزمون و چگونگی استفاده از مطالب این کتاب کمک خواهند کرد.

از آنجایی که هیچ اثری عاری از اشتباه و خطا نیست، از کلیه دوستان، همکاران گرامی، دانش پژوهان عزیز و فعالین حرفه تاسیسات تقاضا داریم تا چنانچه در مورد مندرجات کتاب، پیشنهاد یا نکته نظری دارند، به طور مستقیم و یا از طریق ناشر اعلام نموده تا در ویرایش‌های بعدی از تجربیات و نظرات سازنده شما استفاده نماییم.

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب سال ۱۳۴۸ و آیین‌نامه اجرایی آن مصوب ۱۳۵۰، برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور است. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از مطالب، اشکال، نمودارها، جداول، تصاویر این کتاب در دیگر کتب، مجلات، نشریات، سایت‌ها و موارد دیگر، و نیز هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از کتاب به هر شکل از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، تایپ از کتاب، تهیه پی‌دی‌اف از کتاب، 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 و غیرقانونی بوده و شرعاً نیز حرام است، و متخلفین تحت پیگرد قانونی و قضایی قرار می‌گیرند.

با توجه به اینکه هیچ کتابی از کتب نشر نوآور به صورت فایل ورد یا پی‌دی‌اف و موارد این‌چنین، توسط این انتشارات در هیچ سایت اینترنتی ارائه نشده است، لذا در صورتی که هر سایتی اقدام به تایپ، اسکن و یا موارد مشابه نماید و کل یا قسمتی از متن کتب نشر نوآور را در سایت خود قرار داده و یا اقدام به فروش آن نماید، توسط کارشناسان امور اینترنتی این انتشارات، که مسئولیت اداره سایت را به عهده دارند و به طور روزانه به بررسی محتوای سایت‌ها می‌پردازند، بررسی و در صورت مشخص شدن هرگونه تخلف، ضمن اینکه این کار از نظر قانونی غیرمجاز و از نظر شرعی نیز حرام می‌باشد، وکیل قانونی انتشارات از طریق وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، پلیس فتا (پلیس رسیدگی به جرایم رایانه‌ای و اینترنتی) و نیز سایر مراجع قانونی، اقدام به مسدود نمودن سایت متخلف کرده و طی انجام مراحل قانونی و اقدامات قضایی، خاطیان را مورد پیگرد قانونی و قضایی قرار داده و کلیه خسارات وارده به این انتشارات از متخلف اخذ می‌گردد.

همچنین در صورتی که هر کتابفروشی، اقدام به تهیه کپی، جزوه، چاپ دیجیتال، چاپ ریسو، آفست از کتب انتشارات نوآور نموده و اقدام به فروش آن نماید، ضمن اطلاع‌رسانی تخلفات کتابفروشی مزبور به سایر همکاران و مؤرّعین محترم، از طریق وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، اتحادیه ناشران، و انجمن ناشران دانشگاهی و نیز مراجع قانونی و قضایی اقدام به استیفای حقوق خود از کتابفروشی متخلف می‌نماید.

**خرید، فروش، تهیه، استفاده و مطالعه از روی نسخه غیراصل کتاب،**

**از نظر قانونی غیرمجاز و شرعاً نیز حرام است.**

انتشارات نوآور از خوانندگان گرامی خود درخواست دارد که در صورت مشاهده هر گونه تخلف از قبیل موارد فوق، مراتب را یا از طریق تلفن‌های انتشارات نوآور به شماره‌های ۲-۰۲۱ ۶۶۴۸۴۱۹۱ و ۰۹۱۲۳۰۷۶۷۴۸ و یا از طریق ایمیل انتشارات به آدرس [info@noavarpub.com](mailto:info@noavarpub.com) و یا از طریق منوی تماس با ما در سایت [www.noavarpub.com](http://www.noavarpub.com) به این انتشارات ابلاغ نمایند، تا از تضييع حقوق ناشر، پدیدآورنده و نیز خود خوانندگان محترم جلوگیری به عمل آید، و نیز به‌عنوان تشکر و قدردانی، از کتب انتشارات نوآور نیز هدیه دریافت نمایند.

## فصل اول

### سایکرومتریک

#### (۱-۱) هوا

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

۱- هوای خشک: هوای خشک، مخلوطی است از گازهای مختلف مانند ازت، اکسیژن، آرگون، دی‌اکسیدکربن، هیدروژن و گازهای دیگر (مانند متان، دی‌اکسیدگوگرد، کریپتون و غیره). نسبت این گازها در نقاط مختلف مثلاً در شهرها و ارتفاعات مختلف متفاوت است. هوای خشک اصطلاحاً قسمت ثابت هوا محسوب می‌شود.

۲- هوای مرطوب: هوا علاوه بر گازهای ذکر شده در هوای خشک، دارای مقداری بخار آب است که تماماً بنام هوای مرطوب شناخته شده است. مقدار بخار آب موجود در هوا از صفر تا حد اشباع تغییر می‌کند. 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.

#### روابط حاکم بر هوای خشک و مرطوب

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

#### (۲-۱) معادله گازهای کامل

$$P.V = n.R.T$$

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

$$P = \frac{m}{V} R.T \Rightarrow P = \rho R.T$$

فرم جرم مخصوص

$$P \times \frac{V}{m} = R.T \Rightarrow P v = RT$$

فرم حجم مخصوص

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

$$R_a = \frac{\bar{R}}{M_a} = \frac{8314}{29} = 287 \frac{J}{kg \cdot K}$$

ثابت گاز برای هوای خشک

$$R_v = \frac{\bar{R}}{M_{H_2O}} = \frac{8314}{18} = 461 \frac{J}{kg \cdot K}$$

ثابت گاز برای بخار آب

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:

$$P = P_a + P_v$$

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

$$\rho = \rho_a + \rho_v$$

جرم مخصوص:

$$m = m_a + m_v$$

جرم:

هوای استاندارد: دمای محیط ← 21°C فشار محیط ← 101325 pa چگالی هوا ←  $1.2 \frac{kg}{m^3}$

### (۳-۱) مشخصات هوا

منظور از مشخصات هوا، خواص هوای مرطوب می‌باشد. برای پی بردن به وضعیت یک نمونه هوا و مشخص کردن آن، هفت مشخصه مهم آن باید تعیین شوند. از این هفت مشخصه، سه مشخصه دمایی خشک، دمایی مرطوب و دمایی 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- دمایی خشک، ۲- دمایی 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.

#### (۱-۳-۱) درجه حرارت خشک هوا

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

#### (۲-۳-۱) درجه حرارت هوای مرطوب

هرگاه مخزن دماسنج معمولی با پنبه یا پارچه‌ای مرطوب پوشانده شود و مدتی در مقابل جریان هوا ننگه 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 معینی متوقف می‌گردد. دمایی خوانده شده، درجه حرارت مرطوب هوا است که با مقایسه با دمایی خشک همیشه از آن کوچکتر است. توجه شود که این فرایند آدیباتیک است یعنی هیچگونه گرمایی از منبع خارجی به آن‌ها داده نمی‌شود و اتلاف تشعشعی نیز ناچیز و قابل صرف‌نظر می‌باشد. اندازه‌گیری دمایی مرطوب عملاً با چرخاندن دماسنج مرطوب در سرعت معینی در هوا یا دمیدن مصنوعی هوا بر دماسنج انجام می‌گیرد. بعلاوه برخورد هوا روی پنبه مرطوب، آب آن تبخیر شده (گرمای لازم برای تبخیر آب از دماسنج گرفته می‌شود لذا دمایی آن پایین می‌آید) و دائماً درصد رطوبت هوای مجاور مخزن اضافه می‌گردد و این عمل تا جایی ادامه پیدا می‌کند که فیلم هوای اطراف مخزن به حد اشباع برسد. در این وضع دیگر تبخیر صورت نگرفته و دمایی مخزن جیوه بیشتر از این حد پائین نمی‌رود. دمایی هوای مرطوب را می‌توان بطور تقریب از رابطه زیر با داشتن دمایی خشک و رطوبت نسبی محاسبه کرد.

$$WBT = DBT - (1 - RH) \left( \frac{4}{5} + 0.0125 DBT \right)$$

که در این رابطه WBT دمایی مرطوب (°C)، DBT دمایی خشک هوا (°C) و RH رطوبت نسبی (درصدی) می‌باشد.

#### (۳-۳-۱) دمایی نقطه شبنم هوا

اگر هوای مرطوب غیراشباعی را بدون افزایش و یا کاهش رطوبت آن در فشار ثابت سرد کنیم (دما را کاهش دهیم) در یک دمایی معین، رطوبت موجود در هوا شروع به تشکیل قطرات ریز آب (عرق) می‌نماید. این دما را دمایی نقطه شبنم می‌گویند، در این حالت رطوبتی از خارج به هوا زده نشده و گرفته نخواهد شد و فقط مسئله سرد کردن مطرح است. دمایی شبنم هوا در تهویه مطبوع در سطوح سرد و کویل‌های سرمایی که دمایی هوا کاهش پیدا می‌نماید حائز اهمیت است.

#### (۴-۳-۱) رطوبت

میزان رطوبت موجود در هوای یک فضا تأثیر زیادی بر راحتی ساکنین دارد. به همین دلیل در تهویه مطبوع مسئله میزان رطوبت و لذا اعمال رطوبت‌زنی و در نتیجه ساخت دستگاه‌های رطوبت‌زن 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 پرداخته می‌شود.

##### ۱- رطوبت مطلق

به جرم بخار آب موجود در واحد حجم هوادر همان وضعیت رطوبت مطلق می‌گویند که در حقیقت همان جرم مخصوص بخار آب موجود در هوا است و واحد آن معمولاً کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد.

##### ۲- رطوبت مخصوص

رطوبت مخصوص یا نسبت رطوبت عبارتست از خارج قسمت جرم بخار آب موجود در حجم معینی از هوا به جرم هوای خشک در همان حجم هوا.

$$W = \frac{m_v}{m_a}$$

$$W = 0.622 \frac{P_v}{P_a} = 0.622 \frac{P_v}{P - P_v}$$

در نهایت با ساده کردن رابطه بالا رابطه بسیار مفید حاصل می‌شود.

که در این رابطه،  $w$  رطوبت مخصوص،  $(P_v)$  فشار جزئی بخار آب موجود در هوا،  $(P)$  فشار بارومتریک یا فشار هوای مخلوط و  $(P_a)$  فشار جزئی هوای خشک می‌باشد.

### کنترل رطوبت:

چند طرح کنترل برای اضافه یا کم کردن رطوبت هوا وجود دارد. رطوبت‌گیری زمانی امکان‌پذیر است که دمای سطح کویل آب سرد یا اواپراتور کمتر از دمای نقطه شبنم هوا باشد. برای کنترل می‌توان از کویل پاشش که آب سرد کننده را روی کویل می‌پاشد یا ابرواشر که آب سرد را مستقیماً به داخل هوا می‌پاشد، استفاده کرد. رطوبت زنی را می‌توان بوسیله رطوبت زن بخاری، رطوبت زن مخزنی و یا ابرواشر انجام داد.

توزیع هوا	تک منطقه‌ای - چند منطقه‌ای
هوارسان مرکزی	فقط کویل سرمائی با دمپر روبرو-کنار گذر، کویل گرمائی و سرمائی
کویل سرمائی	با آب سرد کننده - با میرد
کویل گرمائی	بخار-آب گرم کننده-برقی
کویل دوباره گرم کن	بخار-آب گرم کننده-برقی

سیستم دوباره گرم کن  
REHEAT SYSTEM

### ۳- درجه اشباع

اگر مقداری هوای اشباع نشده در دمای معین موجود باشد که فشار بخار آب آن  $P_v$  باشد با اضافه کردن بخار آب به این هوا در آندما، دائماً فشار بخار آب اضافه می‌گردد. از طرفی ماکزیمم مقدار بخار آبی که هوا می‌تواند بپذیرد محدود به مقدار بخار آب در حالت اشباع است. بنابراین در حالت اشباع، بخار آب، ماکزیمم فشار خود را دارد که همان فشار اشباع بخار است ( $P_s$ ). در این حالت دمای هوا با دمای نقطه شبنم هر دو یکی می‌باشند. حال اگر دما تغییر یابد بطور مثال زیاد شود، ماکزیمم مقدار پذیرش بخار آب نیز زیاد شده و دیرتر به حد اشباع می‌رسد. به همین دلیل پارامتری به نام درجه اشباع یا نسبت اشباع تعریف می‌شود. درجه اشباع عبارتست از نسبت رطوبت مخصوص هوا به رطوبت مخصوص همان هوا در صورتیکه در دمای ثابت به حد اشباع برسد (رطوبت‌زنی در دمای ثابت).

$$\mu = \frac{W}{W_s} \times 100$$

تاکنون گفته شد هوا به دو صورت به حالت اشباع می‌رسد یکی با کاهش دما بدون تغییر میزان رطوبت که در این حالت به نقطه شبنم می‌رسد، در این حالت رطوبت موجود در هوا بصورت عرق (شبنم) درمی‌آید. حالت دیگر با افزودن رطوبت در دمای ثابت که به حد اشباع می‌رسد. در این حالت قطرات درشت‌تر تشکیل شده و به هم چسبیده و ریزش بوجود می‌آید. البته به غیر از این دو حالت، حالت‌های بسیار زیاد دیگری وجود دارد که باز هم هوا ممکن است به حالت اشباع برسد.

### ۴- رطوبت نسبی

عبارتست از نسبت جرم بخار آب موجود در هوا به جرم بخار آب اشباع در همان هوا (در دمای معین و ثابت) و بصورت رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$RH = \frac{m_v}{m_s} \times 100 = \frac{P_v}{P_s} \times 100$$

بطور مثال وقتی گفته می‌شود رطوبت نسبی هوایی ۶۰٪ است یعنی از ۱۰۰ قسمت آبی که هوا در یک دمای معین می‌تواند بپذیرد ۶۰ قسمت آن را پذیرفته و هنوز ۴۰ قسمت مانده ظرفیت دارد که به اشباع برسد.

### (۴-۱) آنتالپی هوا

آنتالپی هوا مقدار حرارتی است که باید به واحد جرم هوای خشک (یک کیلوگرم) داده شود تا درجه حرارت آن از صفر درجه سانتیگراد به درجه حرارت موردنظر برسد. واحد آنتالپی، کیلوژول به کیلوگرم هوای خشک است. آنتالپی هوای مرطوب با جمع کردن آنتالپی یک کیلوگرم هوای خشک با آنتالپی بخار آب همراه با آن به دست می‌آید. بنابراین آنتالپی هوا از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$h = h_a + wh_v$$

$$h_a = C_{pa} \times T = 1700.5T$$

که  $h_a$  و  $h_v$  به ترتیب از روابط زیر بدست می‌آیند.

$$h_v = h_g + C_{pv} \times T = 2500 + 1788T$$

در روابط بالا گرمای ویژه هوا در فشار ثابت ( $C_{pa}$ )، گرمای ویژه بخار آب در فشار ثابت ( $C_{pv}$ ) و حرارت نهان تبخیر آب است.

$$h = 1700.5T + w(2500 + 1788T)$$

بنابراین آنتالپی هوا بصورت رابطه زیر در می‌آید.

### انحراف آنتالپی

به اختلاف بین آنتالپی حالت اشباع و حالت غیر اشباع در دمای مرطوب یکسان انحراف آنتالپی گفته می‌شود.

### حجم مخصوص هوا

به حجم هوای واحد جرم هوای خشک (یک کیلوگرم) حجم مخصوص هوا گفته می‌شود و واحد آن ( $m^3/Kg$ ) است.

### حرارت محسوس

حرارتی است که بدون تغییر رطوبت مخصوص هوا باعث تغییر درجه حرارت خشک آن می‌شود. چون تغییر دمای خشک هوا توسط انسان قابل حس است لذا به این گرما حرارت محسوس گفته می‌شود. مانند انتقال حرارت از طریق جداره‌ها، انتقال حرارت توسط خورشید، حرارت حاصل از چراغ‌ها و دستگاه‌ها. واحد آن کیلوژول به کیلوگرم هوای خشک ( $kJ/kgda$ ) است و آن را با SH نمایش می‌دهند.

### حرارت نهان

حرارتی است که باعث تغییر مقدار رطوبت هوا می‌شود و چون این گرما توسط انسان قابل حس نیست لذا به آن حرارت نهان گفته می‌شود. مانند حرارت دستگاه‌ها و لوازم تولید بخار یا رطوبت‌زا و... واحد آن کیلوژول به کیلوگرم هوای خشک است و آن را با LH نشان می‌دهند.

### حرارت کلی

به مجموع حرارت محسوس و حرارت نهان حرارت کلی گفته می‌شود. در حقیقت حرارت کلی هم باعث تغییر درجه حرارت شده و هم نسبت رطوبت را تغییر می‌دهد مانند حرارت حاصل از افراد و لوازم تولید بخار. واحد آن مانند واحد گرمای محسوس یا نهان است و آن را با TH نشان می‌دهند.

### ضریب حرارت محسوس

به نسبت حرارت محسوس به حرارت کلی ضریب حرارت محسوس گفته می‌شود.

$$SHF = \frac{SH}{SH+LH} = \frac{SH}{TH}$$

در جدول (۱-۱) برخی از خواص آب و بخار آب اشباع آمده است.

جدول ۱-۱ خواص آب و بخار آب اشباع

دم °C	فشار اشباع k-Pa	حجم مخصوص ( $m^3/Kg$ )		آنتالپی ( $KJ/Kg$ )		آنتروپی ( $KJ/Kg.K$ )	
		مایع اشباع	بخار اشباع	مایع اشباع	بخار اشباع	مایع اشباع	بخار اشباع
T	$P_{sat}$	$v_f$	$v_g$	$h_f$	$h_g$	$s_f$	$s_g$
۰/۰۱	۰/۶۱۱۳	۰/۰۰۱۰۰۰	۲۰۶/۱۴	۰/۰۱	۲۵۰۱/۴	۰/۰۰۰	۹/۱۵۶۲
۵	۰/۸۷۲۱	۰/۰۰۱۰۰۰	۱۴۷/۱۲	۲۰/۹۸	۲۵۱۰/۶	۰/۰۷۶	۹/۰۲۵۷
۱۰	۱/۲۲۷۶	۰/۰۰۱۰۰۰	۱۰۶/۳۸	۴۲/۰۱	۲۵۱۹/۸	۰/۱۵۱۰	۸/۹۰۰۸
۱۵	۱/۷۰۵۱	۰/۰۰۱۰۰۱	۷۷/۹۳	۶۲/۹۹	۲۵۲۸/۹	۰/۲۲۴۵	۸/۷۸۱۴
۲۰	۲/۳۳۹	۰/۰۰۱۰۰۲	۵۷/۷۹	۸۳/۹۶	۲۵۳۸/۱	۰/۲۹۶۶	۸/۶۶۷۲
۲۵	۳/۱۶۹	۰/۰۰۱۰۰۳	۴۳/۳۶	۱۰۴/۸۹	۲۵۴۷/۳	۰/۳۶۷۴	۸/۵۵۸
۳۰	۴/۲۴۶	۰/۰۰۱۰۰۴	۳۲/۸۹	۱۲۵/۷۹	۲۵۵۶/۳	۰/۴۳۶۹	۸/۴۵۳۳
۳۵	۵/۶۲۸	۰/۰۰۱۰۰۶	۲۵/۲۲	۱۴۶/۶۸	۲۵۶۵/۳	۰/۵۰۵۳	۸/۳۵۳۱
۴۰	۷/۳۸۴	۰/۰۰۱۰۰۸	۱۹/۵۲	۱۶۷/۵۷	۲۵۷۴/۳	۰/۵۷۲۵	۸/۲۵۷۰

دما °C	فشار اشباع k-Pa	حجم مخصوص (m <sup>3</sup> /kg)		آنتالپی (kJ/kg)		آنتروپی (kJ/kg.K)	
		مایع اشباع	بخار اشباع	مایع اشباع	بخار اشباع	مایع اشباع	بخار اشباع
T	P <sub>sat</sub>	v <sub>f</sub>	v <sub>g</sub>	h <sub>f</sub>	h <sub>g</sub>	s <sub>f</sub>	s <sub>g</sub>
۴۵	۹/۵۹۳	-/۰۰۱۰۱۰	۱۵/۲۶	۱۸۸/۴۵	۲۵۸۳/۲	-/۶۳۸۷	۸/۱۶۴۸
۵۰	۱۲/۳۴۹	-/۰۰۱۰۱۲	۱۲/۰۳	۲۰۹/۳۳	۲۵۹۲/۱	-/۷۰۳۸	۸/۰۷۶۳
۵۵	۱۵/۷۵۸	-/۰۰۱۰۱۵	۹/۵۶۸	۲۳۰/۲۳	۲۶۰۰/۹	-/۷۶۷۹	۷/۹۹۱۳
۶۰	۱۹/۹۴۰	-/۰۰۱۰۱۷	۷/۶۷۱	۲۵۱/۱۳	۲۶۰۹/۶	-/۸۳۱۲	۷/۹۰۹۶
۶۵	۲۵/۰۳	-/۰۰۱۰۲۰	۶/۱۹۷	۲۷۲/۰۶	۲۶۱۸/۳	-/۸۹۳۵	۷/۸۳۱۰
۷۰	۳۱/۱۹	-/۰۰۱۰۲۳	۵/۰۴۲	۲۹۲/۹۸	۲۶۲۶/۸	-/۹۵۴۹	۷/۷۵۵۳
۷۵	۳۸/۵۸	-/۰۰۱۰۲۶	۴/۱۳۱	۳۱۳/۹۳	۲۶۳۵/۳	۱/۰۱۵۵	۷/۶۸۲۴
۸۰	۴۷/۳۹	-/۰۰۱۰۲۹	۳/۴۰۷	۳۳۴/۹۱	۲۶۴۳/۷	۱/۰۷۵۳	۷/۶۱۲۲
۸۵	۵۷/۸۳	-/۰۰۱۰۳۳	۲/۸۲۸	۳۵۵/۹۰	۲۶۵۱/۹	۱/۱۳۴۳	۷/۵۴۴۵
۹۰	۷۰/۱۴	-/۰۰۱۰۰۰	۲/۳۶۱	۳۷۶/۹۲	۲۶۶۰/۱	۱/۱۹۲۶	۷/۴۷۹۱
۹۵	۸۴/۵۵	-/۰۰۱۰۴۰	۱/۹۸۲	۳۹۷/۹۶	۲۶۶۸/۱	۱/۲۵۰۰	۷/۴۱۵۹
۱۰۰	-/۱۰۱۳۵	-/۰۰۱۰۴	۱/۶۷۲۹	۴۱۹/۰۴	۲۶۷۶/۱	۱/۳۰۶۹	۷/۳۵۴۹
۱۰۵	-/۱۲۰۸۲	-/۰۰۱۰۵	۱/۴۱۹۴	۴۴۰/۱۵	۲۶۸۳/۸	۱/۳۶۳	۷/۲۹۵۸
۱۱۰	-/۱۴۳۲۷	-/۰۰۱۰۵	۱/۲۱۰۲	۴۶۱/۳۰	۲۶۹۱/۵	۱/۴۱۸۵	۷/۲۳۸۷
۱۱۵	-/۱۶۹۰۶	-/۰۰۱۰۶	۱/۰۳۶۶	۴۸۲/۴۸	۲۶۹۹/۰	۱/۴۷۳۴	۷/۱۸۳۳
۱۲۰	-/۱۹۸۵۳	-/۰۰۱۰۶۰	-/۱۹۱۹	۵۰۳/۷۱	۲۷۰۶/۳	۱/۵۲۷۶	۷/۱۲۹۶
۱۲۵	-/۲۳۲۱	-/۰۰۱۰۶۵	-/۷۷۰۶	۵۲۴/۹۹	۲۷۱۳/۵	۱/۵۸۱۳	۷/۰۷۷۵
۱۳۰	-/۲۷۰۱	-/۰۰۱۰۷۰	-/۶۶۸۵	۵۴۶/۳۱	۲۷۲۰/۵	۱/۶۳۴۴	۷/۰۲۶۹
۱۳۵	-/۳۱۳	-/۰۰۱۰۷۵	-/۵۸۲۲	۵۶۷/۶۹	۲۷۲۷/۳	۱/۶۵۷۰	۶/۹۷۷۷
۱۴۰	-/۳۶۱۳	-/۰۰۱۰۸۰	-/۵۰۸۹	۵۸۹/۱۳	۲۷۳۳/۹	۱/۷۳۹۱	۶/۹۲۹۹
۱۴۵	-/۴۱۵۴	-/۰۰۱۰۸۵	-/۴۴۶۳	۶۱۰/۶۳	۲۷۴۰/۳	۱/۷۹۰۷	۶/۸۸۳۳
۱۵۰	-/۴۷۵۸	-/۰۰۱۰۹	-/۳۹۲۸	۶۳۲/۲۰	۲۷۴۶/۵	۱/۸۴۱۸	۶/۸۳۷۹

DBT → P<sub>v</sub>

۱- با داشتن دمای خشک، فشار بخار اشباع بدست می‌آید.

DPT → P<sub>v</sub>

۲- با داشتن دمای نقطه شبنم، فشار جزئی بخار آب بدست می‌آید.

WBT → P<sub>s</sub>

۳- با داشتن دمای مرطوب، فشار بخار آب اشباع در دمای مرطوب بدست می‌آید.

۴- با داشتن دما یا فشار اشباع، حجم مخصوص و آنتالپی را بدست می‌آید.

مثال ۱: جرم و حجم مخصوص هوای اشباع شده را در دمای ۲۰°C بدست آورید.

حل: برای محاسبه جرم مخصوص هوای اشباع باید ابتدا جرم مخصوص بخار اشباع و هوا محاسبه شوند برای این منظور ابتدا با استفاده از جدول (۱-۱) فشار اشباع تعیین می‌شود.

$$T = 20^{\circ}\text{C} \Rightarrow P_s = 2339 \text{ (Pa)}$$

$$\rho_s = \frac{P_s}{R_s T} = \frac{2339}{461(273+20)} = 0.173 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_a = P - P_s = 101325 - 2339 = 98986 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\rho_a = \frac{P_a}{R_a T} = \frac{98986}{287.1(293)} = 1.1767 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho = \rho_a + \rho_s = 1.1767 + 0.173 = 1.194 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$v = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{1.194} = 0.837 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

جرم مخصوص هوای اشباع

حجم مخصوص هوای اشباع

مثال ۲: دمای هوایی  $26^{\circ}\text{C}$  است. در صورتی که فشار جزئی بخار آب موجود در این هوا  $1227$  پاسکال باشد مطلوب است دمای نقطه شبنم.

چون فشار نقطه شبنم با فشار اشباع برابر است، دمای شبنم هم بالای اشباع برابر است.

$$P_v = 1227 \frac{N}{m^2} \quad \text{جدول (1-1)} \Rightarrow DPT = 1^{\circ}\text{C}$$

مثال ۳: دمای نقطه شبنم هوایی  $22^{\circ}\text{C}$  است. نسبت رطوبت هوا و حجم مخصوص بخار اشباع آن را تعیین کنید.

حل: ابتدا با استفاده از جدول (1-1) فشار بخار اشباع بدست آمده و سپس با استفاده از روابط حجم مخصوص و نسبت رطوبت بدست می‌آیند.

$$DPT = 22^{\circ}\text{C} \quad \text{جدول (1-1)} \Rightarrow P_v = P_s = 2642 \text{ Pa}$$

$$V_v \approx 51 \frac{m^3}{kg}$$

حجم مخصوص با استفاده از جدول (1-1) بدست می‌آید.

البته حجم مخصوص توسط رابطه نیز بدست می‌آید.

$$\rho_v = \frac{P_v}{R_v T} = \frac{2642}{461(273+22)} = 0.019 \frac{kg}{m^3}$$

$$V_v = \frac{1}{\rho_v} = \frac{1}{0.019} = 51 \frac{m^3}{kg}$$

برای محاسبه نسبت رطوبت نیز از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$W = 0.622 \frac{P_v}{P - P_v} = 0.622 \times \frac{2642}{101325 - 2642} = 0.01665 \frac{kg}{kgda}$$

مثال ۴: نسبت رطوبت یک نمونه هوایی که در فشار استاندارد دارای دمای  $26^{\circ}\text{C}$  و نقطه شبنم  $1^{\circ}\text{C}$  است را پیدا کنید.

حل: با مشخص بودن دمای نقطه شبنم و استفاده از جدول (1-1) فشار بخار اشباع بدست می‌آید و سپس با استفاده از رابطه زیر نسبت رطوبت محاسبه می‌شود.

$$DPT = 1^{\circ}\text{C} \quad \text{جدول (1-1)} \Rightarrow P_v = 0.01227 \text{ bar} = 1227 \text{ Pa}$$

$$W = 0.622 \frac{P_v}{P - P_v} = 0.622 \frac{1227}{101325 - 1227} = 0.00762 \frac{kg}{kgda}$$

مثال ۵: مخلوطی از هوای خشک و بخار آب در دمای  $21^{\circ}\text{C}$  و تحت فشار  $736 \text{ mmHg}$  وجود دارد. در صورتی که دمای نقطه شبنم آن  $15^{\circ}\text{C}$  باشد مطلوب است:

الف - فشار جزئی بخار آب

ب - رطوبت نسبی هوا

ج - نسبت رطوبت

د - آنتالپی هوای خشک، بخار آب و هوای مرطوب

ه - حجم مخصوص هوا

حل: الف) با استفاده از جدول (1-1) فشار جزئی بخار آب قابل تعیین می‌باشد.

$$T = 21^{\circ}\text{C} \quad \text{و} \quad P = 736 \text{ mmHg} \quad DPT = 15^{\circ}\text{C}$$

$$DPT = 15^{\circ}\text{C} \Rightarrow P_v = 1705.1 \text{ Pa}$$

$$T = 21^{\circ}\text{C} \Rightarrow P_s = 0.02489 \text{ bar} = 2489 \text{ Pa}$$

ب) رطوبت نسبی هوا با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$RH = \frac{P_v}{P_s} \times 100 = \frac{1705}{2489} \times 100 = 68.5\%$$

ج) برای محاسبه نسبت رطوبت از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$w = 0.622 \frac{P_v}{P_b - P_v} = 0.622 \frac{1705}{101325 - 1705} = 0.0106 \frac{kg}{kgda}$$

د) برای تعیین آنتالپی هوای خشک، بخار آب و هوای مرطوب به ترتیب داریم:

$$h_a = C_{pa} T = 1005 T = 1005 \times 21 = 21111 \frac{kJ}{kgda}$$

$$h_v = w (h_g + C_{pv} T) = 0.0106 (2500 + 1881 \times 21) = 26918 \frac{kJ}{kgda}$$

$$h = h_a + h_v = 21111 + 26918 = 48029 \frac{kJ}{kgda}$$

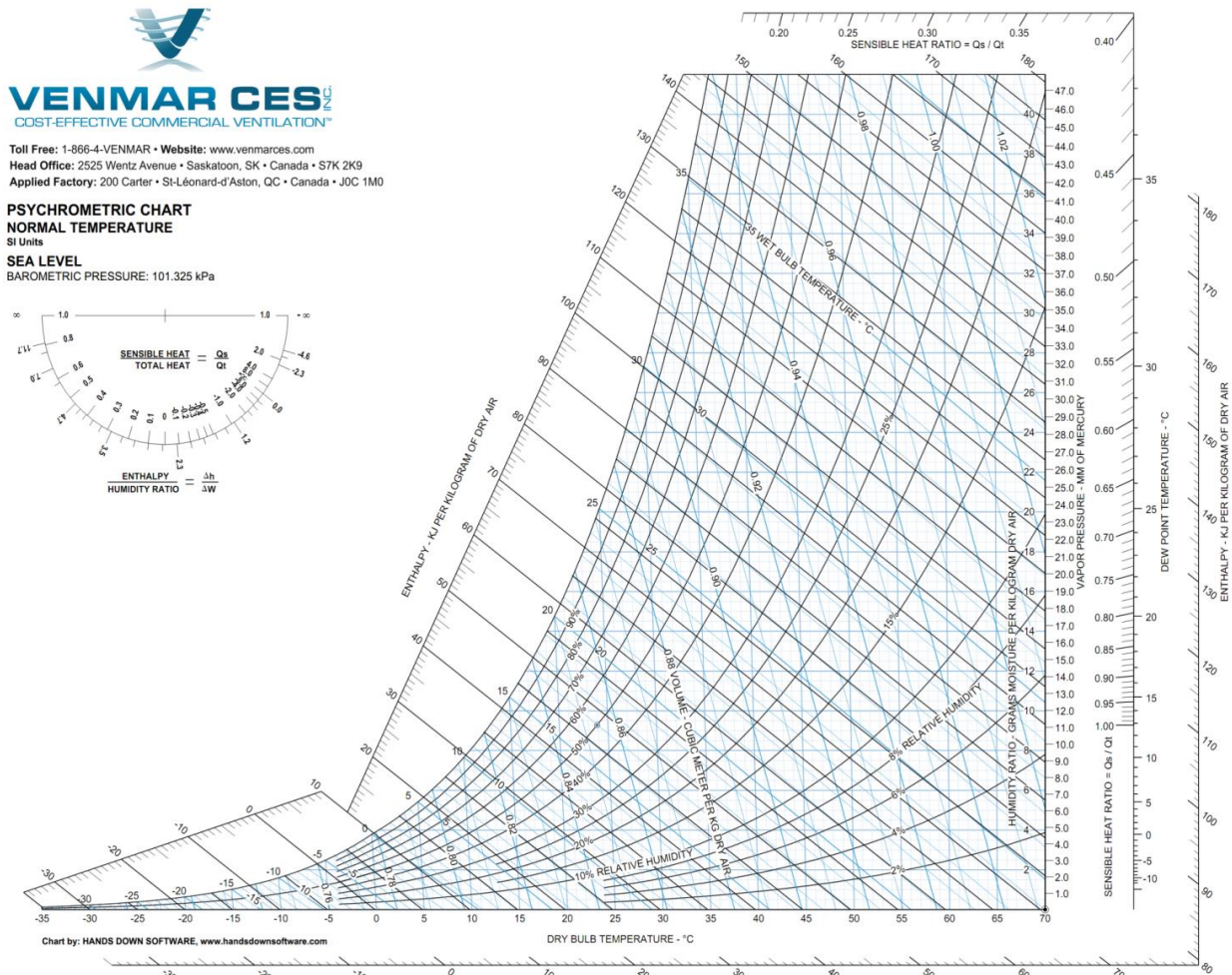


ه) برای تعیین حجم مخصوص هوا از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$V_a = \frac{R_a T}{P_a} = \frac{R_a T}{(P_b - P_v)} = \frac{287,3(273 + 21)}{101325 - 1705} = 0,847 \frac{m^3}{kgda}$$

### (۵-۱) سایکرومتریک

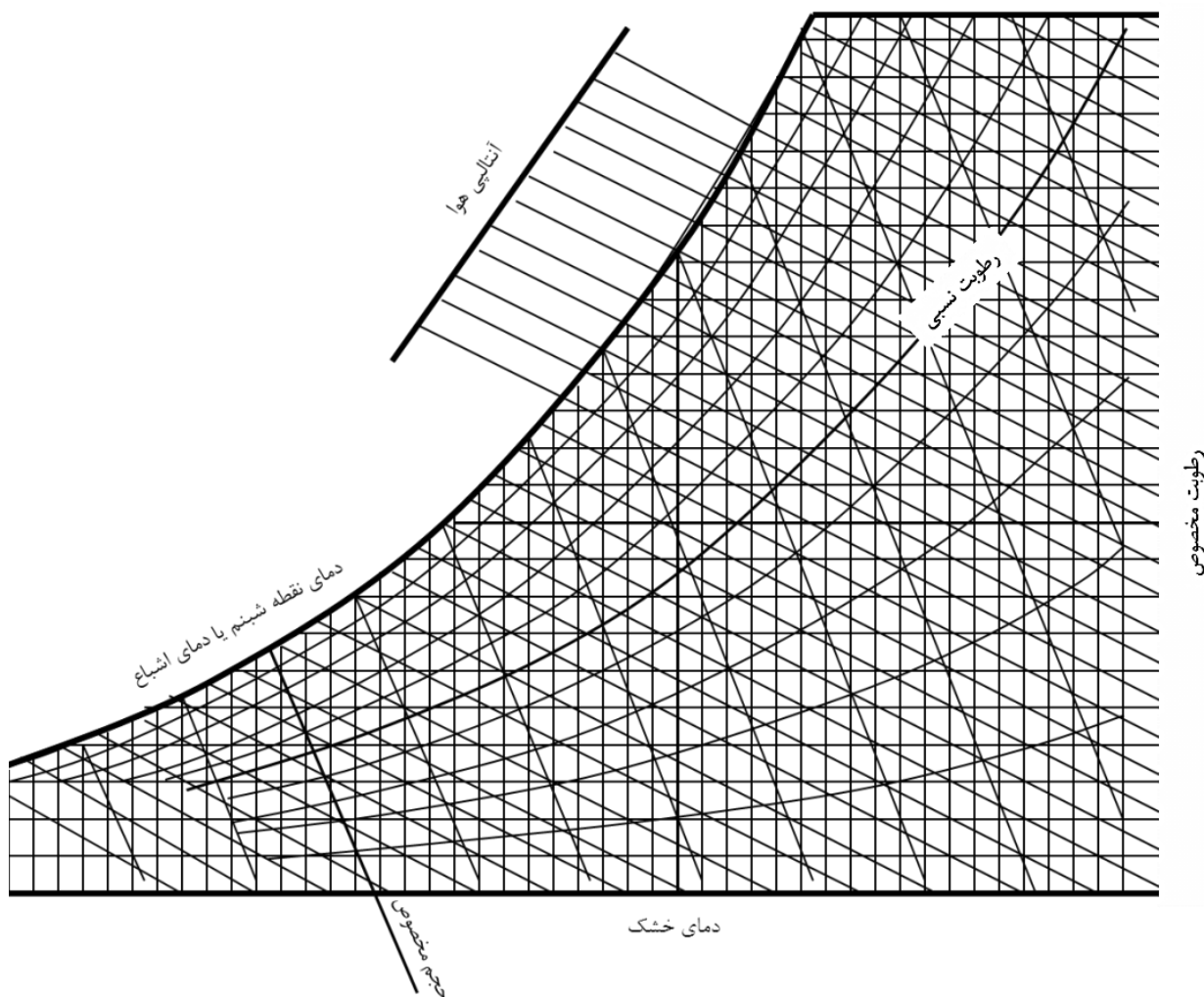
همانطور که در قسمت قبل مشاهده شد با مشخص بودن دو خاصیت مستقل از خواص هوای مرطوب بقیه خواص با استفاده از روابط حاکم قابل محاسبه می‌باشند. به منظور ساده کردن فرایند تعیین خواص هوا، روابط حاکم را بصورت نموداری در آورده‌اند که به آن نمودار سایکرومتریک گفته می‌شود. با مشخص بودن دو خاصیت مستقل هوا حالت هوا بر روی نمودار مشخص می‌شود و با استفاده از منحنی بقیه خواص تعیین می‌شوند. منحنی سایکرومتریک دیاگرامی است که شامل تمام پارامترهای قابل اندازه‌گیری هوا (دمای خشک- دمای مرطوب- نقطه شبنم) و پارامترهای غیر قابل اندازه‌گیری (نسبت رطوبت- رطوبت نسبی- حجم مخصوص- آنتالپی) می‌باشد. در حال حاضر منحنی‌های متفاوتی برای مشخصات هوا بکار برده می‌شود اما مهمترین و معمولی‌ترین آن‌ها دیاگرامی است که روی محور افقی آن درجه حرارت خشک هوا (DBT) و روی محور قائم آن رطوبت مخصوص ( $\omega$ ) درج گردیده و مابین این دو محور خطوط رطوبت نسبی- حجم مخصوص- دمای مرطوب و... ترسیم شده است. در نمودار (۱-۱) یک نمونه نمودار سایکرومتریک آمده است.



نمودار ۱-۱ نمودار سایکرومتریک

توجه شود که نمودار سایکرومتریک آورده شده در شکل (۱-۱) بر اساس فشار سطح دریا (۱۰۱۳۲۵ پاسکال) ترسیم شده است. لذا برای مناطق غیر همسطح با دریا، مقادیر بدست آمده باید تصحیح گردند. البته چون دمای نقطه شبنم و رطوبت نسبی مستقل از فشار جو می‌باشند لذا نیاز به تصحیح ندارند ولی رطوبت مخصوص و آنتالپی وابسته به فشار جو می‌باشند لذا نیاز به تصحیح دارند.

در شکل ۱-۱ محورهای مختلف نمودار سایکرومتریک نشان داده شده است.



شکل ۱-۱ محورهای مختلف نمودار سایکرومتریک

محورهای مختلف نمودار سایکرومتریک عبارتند از:

#### ۱- محور دمای خشک و خطوط دمای خشک ثابت

محور دمای خشک خطی است افقی که محور اصلی و افقی دیاگرام را تشکیل داده و روی آن اعداد دمای خشک درج گردیده که از چپ به راست افزایش می‌یابد و خطوط دمای خشک ثابت، خطوطی هستند قائم و به موازات هم که از یک طرف عمود بر محور دمای خشک هستند و از طرف دیگر خط اشباع را قطع می‌نمایند.

#### ۲- محور رطوبت مخصوص هوا

خطی است قائم که محور اصلی و قائم دیاگرام را تشکیل داده که با اعداد رطوبت مخصوص بر حسب مدرج گردیده و از پائین به بالا رطوبت مخصوص افزایش می‌یابد.

#### الف- خط اشباع یا منحنی اشباع

خط اشباع حالات مختلف هوای اشباع شده را بیان می‌کند. اعداد نوشته شده بر روی این منحنی دمای مرطوب هوا (WBT) و یا نقطه شبنم هوا (DPT) است. توجه شود که در حالت اشباع درجه حرارت‌های خشک و مرطوب و نقطه شبنم برابرند. این خط همچنین خط رطوبت نسبی است و در تمام نقاط روی این خط می‌باشد.

#### ب- خطوط رطوبت نسبی (RH)

خطوط رطوبت نسبی بصورت منحنی‌هائی از پایین و سمت چپ بطرف بالا رسم شده و رطوبت نسبی‌های مختلفی را نشان می‌دهد. خط اشباع در حقیقت یکی از این خطوط با رطوبت نسبی است.

### پ- خطوط حجم مخصوص (w)

خطوط مستقیم و موازی هستند که از یک طرف به منحنی اشباع محدود می‌باشند و بصورت مایل به سمت پائین و متمایل به راست ترسیم شده‌اند که هر کدام نشان‌دهنده یک حجم مخصوص برحسب (m<sup>3</sup>/kgda) می‌باشد.

### ۳- خطوط درجه حرارت مرطوب (WBT)

خطوط مستقیمی هستند که تقریباً موازی می‌باشند مانند خطوط حجم مخصوص ثابت اما دارای شیب کمتر که از یک طرف منحنی اشباع را قطع می‌نمایند و در محل تقاطع می‌توان دمای مرطوب را خواند.

### ۴- خطوط آنتالپی ثابت و محور آنتالپی (h)

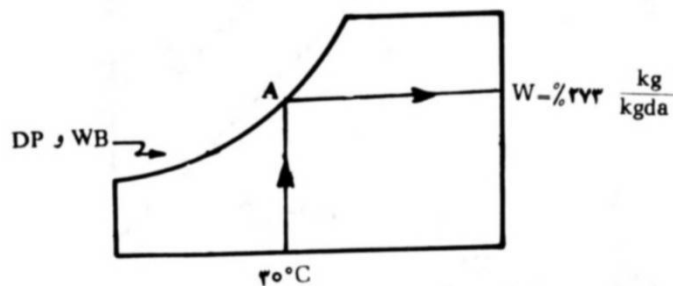
خطوط آنتالپی ثابت مانند خطوط دمای مرطوب ثابت، به همان شکل رسم می‌شوند، در حقیقت خطوط آنتالپی ثابت نسبت به خطوط دمای مرطوب ثابت کمی انحراف دارند و معمولاً در منحنی‌های با مقیاس بزرگ این انحراف مشخص است و خطوط آنتالپی و دمای مرطوب در کنار هم و جداگانه رسم شده‌اند. لیکن در بعضی از دیاگرام‌های هوا بخصوص آن‌ها که در مقیاس کوچک رسم شده‌اند خطوط آنتالپی ثابت درست بر روی خطوط دمای مرطوب قرار گرفته‌اند لیکن مقادیر عددی انحراف را بوسیله منحنی‌هایی با علامت (D) یعنی انحراف آنتالپی مشخص نموده‌اند. خطوط آنتالپی ثابت از یک طرف محور مدرج اعداد آنتالپی را قطع می‌نمایند که در محل تقاطع و بر روی محور آنتالپی می‌توان مقادیر آنتالپی را برحسب (KJ/kgda) خواند.

مثال ۶: هوایی در دمای ۳۰°C و در حالت اشباع می‌باشد مطلوبست تعیین: الف) نقطه شبنم) درجه حرارت مرطوب هوا (ج) رطوبت مخصوص) رطوبت نسبی.

حل: در حالت اشباع نقطه شبنم و درجه حرارت مرطوب و دمای خشک با هم برابرند بنابراین:

$$DP = WB = DB = ۳۰^{\circ}C$$

ج: با استفاده از نمودار سایکرومتریک رطوبت مخصوص بصورت زیر بدست می‌آید:



شکل ۲-۱

$$W = 0.273 \frac{\text{kg}}{\text{kgda}}$$

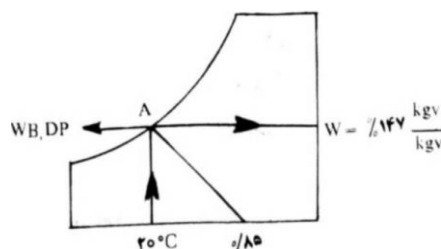
د: چون هوا در حالت اشباع است لذا  $RH = 100\%$

مثال ۷: هوایی در دمای ۲۰°C و در حالت اشباع است مطلوب است:

الف) نسبت رطوبت هوا از منحنی و محاسبه

ب) حجم مخصوص از طریق منحنی و محاسبه

حل: الف) با استفاده از منحنی نسبت رطوبت بصورت زیر بدست می‌آید:



شکل ۲-۱

$$W = 0.147 \frac{\text{kg}}{\text{kgda}}$$

برای محاسبه نسبت رطوبت از رابطه روبرو استفاده می‌شود:

$$W_s = \frac{P_s}{P - P_s} = \frac{0.622 \cdot 2342}{101325 - 2342} = 0.014716 \frac{\text{Kg}}{\text{Kgda}}$$

$$P = \rho a t = 101325 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\text{DBT} = 20^\circ\text{C} \quad P_v = P_s = 17.54 \text{ mmHg} = 2342 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

(ب) تعیین حجم مخصوص با استفاده از نمودار سایکرومتریک (به شکل بالا توجه شود)

$$V = 0.85 \frac{\text{m}^3}{\text{kgda}}$$

محاسبه حجم مخصوص با استفاده از رابطه:

$$P_a = P - P_v = P - P_s = 101325 - 2342 = 98983 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$V_a = \frac{R_a T}{P_a} = \frac{287.3 (273 + 20)}{98983} = 0.85 \frac{\text{m}^3}{\text{kgda}}$$

### (۶-۱) فرایندهای پایه در تهویه مطبوع

تحول‌های اساسی تهویه مطبوع در ارتباط با نحوه کاهش و افزایش و کنترل رطوبت، دما و... عبارتند از:

#### ۱- گرم کردن محسوس هوا

این تحول موقعی انجام می‌گیرد که هوا از روی سطح گرم یا کویل گرمای خشکی عبور کند در این صورت نسبت رطوبت ( $\omega$ ) و نقطه شبنم (DPT) ثابت مانده، رطوبت نسبی (RH) کاهش و دمای مرطوب (WBT) افزایش می‌یابد. در شکل (۶-۱) فرایند OB گرم کردن محسوس را نشان می‌دهد.

$$RH_2 < RH_1 \quad \text{و} \quad T_{db2} > T_{db1} \quad \text{و} \quad h_2 > h_1 \quad \text{و} \quad W_2 = W_1 \quad \text{و} \quad T_{dp2} = T_{dp1} \quad \text{و} \quad T_{wb2} > T_{wb1}$$

#### ۲- سرد کردن محسوس هوا

این تحول موقعی انجام می‌گیرد که هوا از روی سطح سرد شده یا کویل سرمایی خشکی عبور داده شود. در این صورت نسبت رطوبت ( $\omega$ ) و نقطه شبنم (DPT) ثابت مانده، رطوبت نسبی (RH) افزایش و دمای مرطوب (WBT) کاهش می‌یابد. در شکل (۶-۱) فرایند OA گرم کردن محسوس را نشان می‌دهد.

$$RH_2 > RH_1 \quad \text{و} \quad T_{db2} < T_{db1} \quad \text{و} \quad h_2 < h_1 \quad \text{و} \quad W_2 = W_1 \quad \text{و} \quad T_{dp2} = T_{dp1} \quad \text{و} \quad T_{wb2} < T_{wb1}$$

#### ۳- تحول ایزوترم

در این تحول فقط به هوا رطوبت اضافه یا از آن گرفته می‌شود. بطوریکه دمای خشک، ثابت می‌ماند. در شکل (۶-۱) تحول OC رطوبت زنی ایزوترم و تحول OD رطوبت‌گیری ایزوترم را نشان می‌دهد. فقط رطوبت زنی:

$$RH_2 > RH_1 \quad \text{و} \quad T_{db2} = T_{db1} \quad \text{و} \quad h_2 > h_1 \quad \text{و} \quad W_2 > W_1 \quad \text{و} \quad T_{dp2} > T_{dp1} \quad \text{و} \quad T_{wb2} > T_{wb1}$$

فقط رطوبت‌گیری:

$$RH_2 < RH_1 \quad \text{و} \quad T_{db2} = T_{db1} \quad \text{و} \quad h_2 < h_1 \quad \text{و} \quad W_2 < W_1 \quad \text{و} \quad T_{dp2} < T_{dp1} \quad \text{و} \quad T_{wb2} < T_{wb1}$$

#### ۴- تحول آدیباتیک و تحول آدیباتیک اشباع (رطوبت زدن به روش آدیباتیک)

این تحول موقعی صورت می‌گیرد که هوا از روی دستگاه ابرواشر عبور کند و آب مجدداً به نازل‌ها برگشت داده شود بدون اینکه حرارتی از داخل به خارج یا بالعکس انتقال یابد، نمونه این تحول، در کولر آبی است. بطوریکه اگر راندمان کولر آبی صد درصد باشد در آن تحول آدیباتیک اشباع صورت می‌گیرد.