

# جزوه طرح تاسیسات مکانیک ساختمان ویژه آزمون نظام مهندس

تألیف و گردآوری:

مهندس احمد رضا برومehrپور

«انتشار و کپی مطالب جزو تحت هیچ شرایطی مجاز نیست.»

ویرایش چهارم

مهرماه ۱۳۹۹

## مجوز انتشار

این جزوه با صرف ساعت‌ها وقت و با نهایت دقیق و حوصله تهیه شده است. خواهشمند است به منظور حمایت و حفظ حقوق صاحب اثر از تکثیر و انتشار محتوای آن خودداری فرمایید. تنها مرجع مجاز برای انتشار و فروش این جزوه وبسایت یک مهندس می‌باشد. در صورتی که این جزوه به طریق دیگری به دست شما رسیده، خواهشمند است با مراجعه به «مرجع آمادگی آزمون نظام مهندسی - یک مهندس» به آدرس <https://nezam.1engr.ir/> نسبت به خرید آن اقدام فرمایید.

# فهرست

۱	فصل ۱: مفاهیم اولیه تهویه مطبوع
۱	۱-۱ روابط حاکم بر هوای خشک و مرطوب
۱	۱-۱-۱ معادله گاز ایده‌آل
۲	۲-۱ مشخصات هوا
۲	۲-۱-۱ دمای حباب خشک
۲	۲-۱-۲ دمای حباب مرطوب
۲	۲-۱-۳ دمای نقطه شبنم
۲	۲-۱-۴ رابطه دمای خشک، دمای مرطوب و نقطه شبنم
۲	۲-۱-۵ هوای اشباع
۳	۲-۱-۶ رطوبت نسبی
۳	۲-۱-۷ نسبت رطوبت
۳	۲-۱-۸ اننتالپی هوا
۴	۳-۱ حرارت محسوس و نهان
۴	۳-۱-۱ حرارت محسوس
۴	۳-۱-۲ حرارت نهان
۴	۳-۱-۳ حرارت کلی
۵	۴-۱ نمودار سایکرومتریک
۶	۴-۱-۱ حرارت محسوس و نهان بر روی نمودار سایکرومتریک
۶	۴-۱-۵ فرایندهای پایه در تهویه مطبوع
۷	۴-۱-۱ سرمایش محسوس
۷	۴-۱-۲ گرمایش محسوس
۷	۴-۱-۳ سرد کردن و رطوبت‌گیری
۸	۴-۱-۴ گرم کردن و رطوبت‌زنی
۹	۴-۱-۵ سرمایش تبخیری
۹	۴-۱-۶ گرمایش و رطوبت‌گیری
۱۰	۴-۱-۷ مخلوط کردن دو هوا
۱۱	۶-۱ ضریب حرارت محسوس
۱۲	۷-۱ ضریب حرارت محسوس اتاق
۱۳	۸-۱ ضریب حرارت محسوس کل
۱۵	۹-۱ محاسبه دبی حجمی هوای تهویه
۱۶	۱۰-۱ نقطه شبنم دستگاه
۱۶	۱۱-۱ ضریب کنارگذر کویل

۱۷	۱۲-۱ ضریب حرارت محسوس موثر اتاق
۱۸	۱۳-۱ محاسبه دبی حجمی هوای تهویه با استفاده از ESHF
۱۹	۱۴-۱ ضریب تصحیح چگالی
۱۹	۱۴-۱-۱ محاسبه ضریب تصحیح چگالی
۲۰	۱۵-۱ تمرين
۲۹	فصل ۲: انتقال حرارت
۲۹	۱-۲ گرما
۲۹	۲-۲ دما
۲۹	۳-۲ واحدهای اندازه‌گیری گرما
۲۹	۴-۲ ظرفیت گرمایی
۳۰	۵-۲ ظرفیت گرمایی ویژه
۳۰	۶-۲ ظرفیت گرمایی مولی
۳۰	۷-۲ گرمای ویژه گازها
۳۰	۷-۲-۱ ثابت ویژه گاز
۳۰	۷-۲-۲ نسبت گرماهای ویژه گاز
۳۱	۸-۲ انتقال حرارت
۳۱	۱-۸-۲ هدایت یا رسانش
۳۱	۲-۸-۲ جابجایی یا همرفت
۳۲	۳-۸-۲ تشعشع یا تابش
۳۲	۴-۸-۲ ضریب انتقال حرارتی کلی
۳۴	۹-۲ محاسبه انتقال حرارت با جریان آب
۳۴	۱-۹-۲ اختلاف (افت) دمای طرح
۳۴	۱۰-۲ بار حرارتی ساختمان
۳۵	۱-۱۰-۲ شرایط طرح
۳۵	۲-۱۰-۲ تلفات حرارتی جدارها
۳۵	۳-۱۰-۲ تلفات حرارتی ناشی از تعویض هوا
۳۶	۴-۱۰-۲ بار حرارتی آب گرم مصرفی
۳۷	۱۱-۲ تمرين
۴۱	فصل ۳: سیستم‌های تهویه مطبوع
۴۱	۱-۳ سیستم‌های تمام هوا
۴۲	۱-۳-۱ سیستم تک کاناله یک منطقه‌ای حجم ثابت
۴۳	۱-۳-۲ سیستم تک کاناله چند منطقه‌ای حجم ثابت
۴۴	۱-۳-۳ سیستم تک کاناله حجم متغیر
۴۴	۱-۴-۳ سیستم دو کاناله حجم ثابت
۴۵	۱-۵-۳ سیستم دو کاناله حجم متغیر

۲-۳ مزایا و معایب و کاربرد سیستم‌های تمام هوای	۴۵
۱-۲-۳ مزایای سیستم‌های تمام هوای	۴۵
۲-۲-۳ معایب سیستم‌های تمام هوای	۴۶
۳-۲-۳ کاربرد سیستم‌های تمام هوای	۴۶
۳-۳ سیستم‌های تمام آب	۴۶
۴-۳ مزایا و معایب و کاربرد سیستم‌های تمام آب	۴۷
۱-۴-۳ مزایای سیستم‌های تمام آب	۴۷
۲-۴-۳ معایب سیستم‌های تمام آب	۴۷
۳-۴-۳ کاربرد سیستم‌های تمام آب	۴۷
۳-۵ سیستم‌های هوای آب	۴۷
۳-۶ مزایا و معایب و کاربرد سیستم‌های هوای آب	۴۸
۱-۶-۳ مزایای سیستم‌های هوای آب	۴۸
۲-۶-۳ معایب سیستم‌های هوای آب	۴۹
۳-۶-۳ کاربرد سیستم‌های هوای آب	۴۹
۷-۳ سیستم‌های یکپارچه بر پایه مبرد	۴۹
۳-۸-۳ مزایا و معایب و کاربرد سیستم‌های یکپارچه بر پایه مبرد	۴۹
۱-۸-۳ مزایای سیستم‌های یکپارچه بر پایه مبرد	۴۹
۲-۸-۳ معایب سیستم‌های یکپارچه بر پایه مبرد	۴۹
۳-۸-۳ کاربرد سیستم‌های یکپارچه بر پایه مبرد	۵۰
۹-۳ معیارهای انتخاب سیستم‌های تهویه مطبوع	۵۰
۱۰-۳ تمرین	۵۱
فصل ۴: تهویه تبخیری	۵۲
۱-۴ سرمایش تبخیری مستقیم	۵۲
۲-۴ سرمایش تبخیری غیرمستقیم	۵۳
۳-۴ سرمایش تبخیری دو مرحله‌ای	۵۴
۴-۴ مزایا و معایب سیستم‌های سرمایش تبخیری	۵۵
۱-۴-۴ مزایای سیستم‌های سرمایش تبخیری:	۵۵
۲-۴-۴ معایب سیستم‌های سرمایش تبخیری:	۵۶
۴-۵ ایرواشر	۵۶
۶-۴ تمرین	۵۸
فصل ۵: تبرید	۶۰
۱-۵ سیکل تبرید تراکمی	۶۰
۱-۱-۵ اجزا سیکل تبرید تراکمی	۶۱
۲-۱-۵ کمپرسور	۶۱

۶۱	۳-۱-۵ کندانسور
۶۲	۴-۱-۵ شیر انبساط
۶۲	۵-۱-۵ اوپراتور
۶۲	۶-۱-۵ برج خنک کننده
۶۳	۷-۱-۵ مبرد
۶۳	۸-۱-۵ فرآیندهای سیکل تبرید تراکمی
۶۴	۲-۵ سیکل تبرید جذبی
۶۴	۱-۲-۵ عملکرد چیلر جذبی
۶۴	۲-۲-۵ اجزا سیکل تبرید جذبی
۶۵	۳-۲-۵ طبقه‌بندی چیلرهای جذبی
۶۸	۳-۵ ضریب عملکرد
۶۸	۴-۵ نسبت بازده انرژی
۶۸	۵-۵ حداکثر مقدار نظری ضریب عملکرد و نسبت بازده انرژی
۶۸	۶-۵ نسبت بازده انرژی فصلی
۶۹	۷-۵ مقادیر بار جزئی یکپارچه
۷۰	۸-۵ تمرين
۷۴	<b>فصل ۶: حرارت مرکزی</b>
۷۴	۱-۶ حرارت مرکزی با آب گرم
۷۴	۲-۶ اجزا سیستم‌های حرارت مرکزی با آب گرم
۷۴	۳-۶ ۱- دیگ
۷۵	۴-۶ ۲- دیگ‌های چدنی
۷۵	۵-۶ ۳- دیگ فولادی
۷۵	۶-۶ ۴- انتخاب دیگ
۷۶	۶-۶ ۳- مشعل
۷۶	۱-۳-۶ تقسیم‌بندی مشعل‌ها
۷۶	۲-۳-۶ انتخاب مشعل
۷۷	۳-۳-۶ محاسبه ظرفیت مخزن سوخت روزانه
۷۷	۴-۳-۶ محاسبه ظرفیت مخزن سوخت اصلی
۷۷	۶-۶ منبع انبساط
۷۸	۱-۴-۶ منبع انبساط بار
۷۹	۲-۴-۶ منبع انبساط بسته
۸۰	۶-۶ ۵- کلکتور
۸۰	۶-۶ ۶- پمپ سیرکولاتور
۸۰	۱-۶-۶ دبی پمپ سیرکولاتور
۸۰	۲-۶-۶ محل نصب پمپ

۸۰	۷-۶ شیرها
۸۱	۱-۷-۶ انواع شیرها
۸۱	۲-۷-۶ ضریب جریان
۸۱	۳-۷-۶ مشخصه جریان شیرهای کروی
۸۲	۴-۷-۶ شیرهای سه راهه
۸۴	۵-۶ تمرین
۸۶	فصل ۷: لوله کشی
۸۶	۱-۷ جنس لوله‌ها
۸۶	۱-۱-۷ معایب و مزایای لوله‌های پلیمری
۸۷	۲-۷ انبساط لوله‌ها
۸۷	۱-۲-۷ انبساط طولی
۸۷	۲-۲-۷ فرمول محاسبه طول حلقه
۸۷	۳-۷ لوله کشی آب سیستم‌های گرمایشی
۸۷	۱-۳-۷ شبکه لوله کشی یک لوله‌ای
۸۸	۲-۳-۷ شبکه لوله کشی دو لوله‌ای
۸۹	۴-۷ تعیین قطر لوله‌ها
۸۹	۱-۴-۷ محاسبه دبی لوله‌ها
۸۹	۲-۴-۷ افت فشار داخل لوله‌ها
۸۹	۳-۴-۷ سرعت آب در داخل لوله
۹۱	فصل ۸: پمپ
۹۱	۱-۸ منحنی مشخصه پمپ‌های سانتریفیوژ
۹۱	۲-۸ نقطه عملکرد پمپ
۹۲	۳-۸ به هم بستن پمپ‌ها
۹۲	۱-۳-۸ پمپ‌های سری
۹۲	۲-۳-۸ پمپ‌های موازی
۹۳	۴-۸ ارتفاع مکش ثابت خالص
۹۳	۱-۴-۸ کاوبوتاسیون
۹۴	۲-۴-۸ محاسبه NPSH
۹۵	۵-۸ روابط تشابهی پمپ‌ها
۹۶	۶-۸ محاسبه توان مفید، توان مصرفی، توان الکتروموتور
۹۷	۷-۸ تمرین
۱۰۱	۸-۹ فن و هوارسان
۱۰۱	۹-۹ فن‌های سانتریفیوژی یا گریز از مرکز
۱۰۱	۱-۱-۹ پره‌های منحنی با شیب به جلو
۱۰۱	۲-۱-۹ پره‌های ایرفویل با شیب به عقب

۱۰۱	۳-۱-۹ پرههای منحنی با شیب به عقب
۱۰۲	۴-۱-۹ پرههای شعاعی یا رادیال
۱۰۲	۵-۱-۹ مقایسه فن‌های سانتریفیوژی
۱۰۲	۶-۹ فن‌های محوری
۱۰۳	۱-۲-۹ فن‌های با پره ملخی
۱۰۳	۲-۲-۹ فن‌های لوله محوری
۱۰۳	۳-۲-۹ فن‌های پره محوری
۱۰۳	۴-۲-۹ مقایسه فن‌های محوری
۱۰۴	۳-۹ نقطه عملکرد فن
۱۰۴	۴-۹ به هم بستن فن‌ها
۱۰۴	۱-۴-۹ فن‌های سری
۱۰۴	۲-۴-۹ فن‌های موازی
۱۰۵	۵-۹ روابط تشابهی فن‌ها
۱۰۵	۶-۹ توان فن‌ها
۱۰۶	۷-۹ هوا رسان
۱۰۷	۸-۹ کانال‌ها
۱۰۷	۹-۸-۱ طرح و محاسبه سیستم کanal
۱۰۸	۹-۸-۲ قطر و شعاع هیدرولیکی
۱۰۸	۹-۸-۳ محاسبه ابعاد کanal
۱۱۱	۹-۸-۴ نسبت ظرافت در کanal کشی
۱۱۲	۹-۹ تمرین
۱۱۵	۱۰-۱ فشار
۱۱۵	۱۰-۲ فشار هیدرواستاتیک
۱۱۵	۱۰-۳ فشار استاتیک
۱۱۵	۱۰-۴ فشار دینامیک
۱۱۶	۱۰-۵ فشار کل
۱۱۶	۱۰-۶ رابطه برنولی
۱۱۷	۱۰-۷ تغییرات فشار در کanal
۱۱۸	۱۰-۸ تمرین
۱۱۹	۱۱-۱ کلید سوالات
۱۲۰	۱۱-۲ پیوست‌ها
۱۲۰	۱۲-۱ چگالی آب
۱۲۰	۱۲-۱-۱ چگالی آب - دما (درجه سلسیوس)
۱۲۱	۱۲-۱-۲ چگالی آب - دما (درجه فارنهایت)

۱۲۲	۲-۱۲ خواص ترمودینامیکی آب اشباع.....
۱۲۲	۱-۲-۱۲ خواص ترمودینامیکی آب اشباع - جدول دما.....
۱۲۴	۲-۲-۱۲ خواص ترمودینامیکی آب اشباع - جدول فشار .....
۱۲۶	۳-۱۲ خواص ترمودینامیکی هوا.....
۱۲۶	۱-۳-۱۲ خواص ترمودینامیکی هوا در فشار ۱ اتمسفر .....
۱۲۷	۲-۳-۱۲ خواص هوا در ارتفاعهای مختلف.....
۱۲۸	۴-۱۲ نمودار سایکرومتریک .....
۱۲۸	۱-۴-۱۲ نمودار سایکرومتریک - واحد IP .....
۱۲۹	۲-۴-۱۲ نمودار سایکرومتریک - واحد SI .....
۱۳۰	۵-۱۲ اطلاعات پایپینگ.....
۱۳۰	۱۲-۵-۱ تبدیل NPS و DN .....
۱۳۰	۲-۵-۱۲ کلاس فشار (سیستم عدد گذاری).....
۱۳۱	۶-۱۲ جداول تبدیل واحد .....
۱۳۱	۱-۶-۱۲ ضرایب پیشوندهای سیستم SI .....
۱۳۱	۲-۶-۱۲ واحدهای طول .....
۱۳۱	۳-۶-۱۲ واحدهای سطح .....
۱۳۲	۴-۶-۱۲ واحدهای حجم .....
۱۳۲	۵-۶-۱۲ واحدهای جرم .....
۱۳۲	۶-۶-۱۲ واحدهای چگالی .....
۱۳۲	۷-۶-۱۲ واحدهای دبی حجمی مایعات .....
۱۳۳	۸-۶-۱۲ واحدهای دبی حجمی گازها .....
۱۳۳	۹-۶-۱۲ واحدهای دبی جرمی .....
۱۳۳	۱۰-۶-۱۲ واحدهای فشار بالا .....
۱۳۳	۱۱-۶-۱۲ واحدهای فشار پایین .....
۱۳۴	۱۲-۶-۱۲ واحدهای سرعت .....
۱۳۴	۱۳-۶-۱۲ واحدهای گشتاور .....
۱۳۴	۱۴-۶-۱۲ واحدهای ویسکوزیته دینامیکی .....
۱۳۴	۱۵-۶-۱۲ واحدهای ویسکوزیته سینماتیکی .....
۱۳۴	۱۶-۶-۱۲ فرمولهای تبدیل دما.....
۱۳۵	۱۷-۶-۱۲ واحدهای انرژی .....
۱۳۵	۱۸-۶-۱۲ واحدهای توان .....
۱۳۵	۱۹-۶-۱۲ رسانایی حرارتی (K).....
۱۳۵	۲۰-۶-۱۲ ضریب انتقال حرارت (U).....

# فهرست شکل‌ها

..... ۵	شکل ۱-۱: نمودار سایکرومتریک و پارامترهای مختلف آن.
..... ۶	شکل ۲-۱: حرارت محسوس و نهان بر روی نمودار سایکرومتریک.
..... ۶	شکل ۳-۱: فرآیندهای پایه تهویه مطبوع بر روی نمودار سایکرومتریک.
..... ۷	شکل ۴-۱: سرمایش محسوس بر روی نمودار سایکرومتریک.
..... ۷	شکل ۵-۱: گرمایش محسوس بر روی نمودار سایکرومتریک.
..... ۷	شکل ۶-۱: فرایند سرد کردن و رطوبت‌گیری.
..... ۸	شکل ۷-۱: فرایند گرم کردن و رطوبت‌زنی.
..... ۹	شکل ۸-۱: فرایند سرمایش تبخیری.
..... ۹	شکل ۹-۱: فرایند گرمایش و رطوبت‌گیری.
..... ۱۰	شکل ۱۰-۱: اختلاط هوا بدون کندانس.
..... ۱۱	شکل ۱۱-۱: اختلاط هوا همراه با کندانس.
..... ۱۱	شکل ۱۲-۱: ضریب حرارت محسوس.
..... ۱۲	شکل ۱۳-۱: رسم فرایند با کمک ضریب حرارت محسوس و دایره مبنا.
..... ۱۳	شکل ۱۴-۱: سیستم تهویه با ۱۰۰ درصد هوای بازگشتی (بدون هوای تازه).
..... ۱۳	شکل ۱۵-۱: فرایند تهویه با ۱۰۰ درصد هوای بازگشتی بر روی نمودار سایکرومتریک (نمایش خط ضریب حرارت محسوس اتاق).
..... ۱۴	شکل ۱۶-۱: سیستم تهویه با هوای تازه و بدون ضریب کنارگذر کویل.
..... ۱۴	شکل ۱۷-۱: فرایند تهویه با هوای تازه و بدون ضریب کنارگذر کویل بر روی نمودار سایکرومتریک.
..... ۱۵	شکل ۱۸-۱: سیستم تهویه با هوای تازه و با ضریب کنارگذر کویل.
..... ۱۵	شکل ۱۹-۱: فرایند تهویه با هوای تازه و با ضریب کنارگذر کویل بر روی نمودار سایکرومتریک (نمایش ضریب حرارت محسوس کل).
..... ۱۶	شکل ۲۰-۱: ضریب کنارگذر کویل در فرآیند سرمایش و رطوبت‌گیری.
..... ۱۷	شکل ۲۱-۱: ضریب حرارت محسوس موثر اتاق و ضریب حرارت محسوس کل بر روی نمودار سایکرومتریک.
..... ۳۱	شکل ۲-۱: روش‌های مختلف انتقال حرارت.
..... ۳۳	شکل ۲-۲: ضریب انتقال حرارت کلی دیوار ساده.
..... ۳۳	شکل ۳-۲: ضریب انتقال حرارت کلی دیوار مرکب.
..... ۴۲	شکل ۳-۳: سیستم تک کاناله یک منطقه‌ای حجم ثابت.
..... ۴۳	شکل ۲-۳: سیستم تک کاناله چند منطقه‌ای حجم ثابت با کویل بازگرم.
..... ۴۴	شکل ۳-۳: سیستم تک کاناله چند منطقه‌ای حجم متغیر.
..... ۴۵	شکل ۴-۳: سیستم دو کاناله حجم ثابت.
..... ۴۶	شکل ۵-۳: سیستم تمام آب دو-لوله‌ای.
..... ۴۸	شکل ۶-۳: سیستم هو-آب.
..... ۵۲	شکل ۱-۴: سیستم سرمایش تبخیری مستقیم.
..... ۵۲	شکل ۲-۴: سرمایش تبخیری مستقیم بر روی نمودار سایکرومتریک.
..... ۵۴	شکل ۳-۴: سیستم سرمایش تبخیری غیرمستقیم.
..... ۵۴	شکل ۴-۴: سرمایش تبخیری غیرمستقیم بر روی نمودار سایکرومتریک.

۵۵	شکل ۴-۵: سیستم سرمایش تبخیری دو مرحله‌ای.....
۵۵	شکل ۶-۴: سرمایش تبخیری دو مرحله‌ای بر روی نمودار سایکرومتریک.....
۵۶	شکل ۷-۴: ایروasher.....
۵۶	شکل ۸-۴: فرایندهای مختلف ایروasher بر روی نمودار سایکرومتریک.....
۶۰	شکل ۱-۵: سیکل تبرید تراکمی.....
۶۵	شکل ۲-۵: چیلر جذبی تک اثره.....
۶۷	شکل ۳-۵: چیلر جذبی دو اثره.....
۸۲	شکل ۱-۶: مشخصه جریان شیرهای کروی کنترلی .....
۸۳	شکل ۲-۶: موقعیت نصب شیر سه راهه نسبت به کویل.....
۸۷	شکل ۱-۷: حلقه انبساط.....
۸۷	شکل ۲-۷: شبکه لوله‌کشی یک لوله‌ای .....
۸۸	شکل ۳-۷: شبکه لوله‌کشی دو لوله‌ای برگشت مستقیم .....
۸۹	شکل ۴-۷: شبکه لوله‌کشی دو لوله‌ای برگشت معکوس .....
۹۰	شکل ۷-۵: نمودار سایززنی لوله‌های پلی‌اتیلن .....
۹۱	شکل ۱-۸: نقطه عملکرد پمپ .....
۹۲	شکل ۲-۸: به هم بستن پمپ‌ها به صورت سری .....
۹۲	شکل ۳-۸: به هم بستن پمپ‌ها به صورت موازی .....
۹۳	شکل ۴-۸: ارتفاع مکش مثبت خالص (NPSH) پمپ .....
۹۴	شکل ۵-۸: کاویتاسیون در پمپ .....
۹۵	شکل ۶-۸: ارتفاع مکش در پمپ .....
۱۰۲	شکل ۱-۹: مقایسه فن‌های سانتریفیوژ .....
۱۰۳	شکل ۲-۹: مقایسه فن‌های محوری .....
۱۰۴	شکل ۳-۹: نقطه عملکرد فن .....
۱۰۴	شکل ۴-۹: به هم بستن فن‌ها به صورت سری و موازی .....
۱۱۰	شکل ۵-۹: نمودار سایززنی کانال با مقطع دایره‌ای .....
۱۱۱	شکل ۶-۹: نمودار ابعاد کانال مستطیلی معادل .....
۱۱۵	شکل ۱-۱۰: فشار هیدرولاستاتیک .....
۱۱۶	شکل ۲-۱۰: فشار کل در سیال .....
۱۱۷	شکل ۳-۱۰: تغییرات فشار در کانال .....

## ۱- مفاهیم اولیه تهویه مطبوع

ایجاد شرایط آسایش انسان در محیط‌های مختلف از طریق اجرای سلسله عملیات بر روی هوا، از قبیل افزایش یا کاهش گرما و رطوبت و نیز کاهش میزان گازها و ترکیبات مضر در هوا صورت می‌گیرد. هوا ترکیبی از گازهای نیتروژن، اکسیژن، آرگون، دی‌اکسید کربن، نئون، هلیوم و مقادیر ناچیزی گازهای دیگر از قبیل متان، هیدروژن، دی‌اکسید گوگرد و ... است که اجزا اصلی هوای خشک را تشکیل می‌دهند.

به همراه این گازها همواره مقداری رطوبت به صورت بخار آب در هوا وجود دارد که میزان آن متغیر است. رطوبت نیز همانند دما از نقطه نظر شرایط آسایش انسان و کیفیت هوای محیط نقش تعیین کننده‌ای دارد. کاهش فشار در دمای ثابت و یا افزایش دما، قابلیت جذب رطوبت هوا را افزایش می‌دهد. برای ایجاد شرایط مطلوب باید چگونگی تاثیر متقابل این عوامل بر یکدیگر و همچنین سایر مختصات هوا بررسی گردد.

### ۱- روابط حاکم بر هوای خشک و مرطوب

#### ۱-۱ معادله گاز ایده‌آل

$$PV = n\bar{R}T \quad (1-1)$$

در این رابطه  $P$  فشار (پاسکال)،  $V$  حجم (متر مکعب)،  $n$  تعداد مول‌ها،  $\bar{R}$  ثابت جهانی گاز کامل و  $T$  دمای مطلق (کلوین) است.

همچنین معادله گاز ایده‌آل را می‌توان بر حسب حجم مخصوص و جرم مخصوص بدست آورد:

$$P = \frac{m}{V}RT \rightarrow P = \rho R \quad (2-1)$$

$$P \frac{V}{m} = RT \rightarrow PV = RT \quad (3-1)$$

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

$$R_a = \frac{\bar{R}}{M_a} = \frac{8314}{29} = 287 \frac{J}{kg - K} \quad (4-1)$$

$$R_v = \frac{\bar{R}}{M_{H_2O}} = \frac{8314}{18} = 461 \frac{J}{kg - K} \quad (5-1)$$

شرط استفاده از قانون گاز ایده‌آل برای هوای مرطوب رعایت قانون دالتون است. قانون دالتون، قانونی است که فشار کل یک گاز را با معادله‌ای به مجموع فشار هر جز گاز مرتبط می‌کند. بر اساس این قانون فشار هوای مرطوب برابر با فشارهای جزیی هوای خشک و بخار آب موجود در هواست:

$$P = P_a + P_v \quad (6-1)$$

همچنین با در اختیار داشتن مشخصات هوای خشک و بخار آب، سایر مشخصات هوای مرطوب به صورت ذیل قابل محاسبه خواهد بود:

$$\rho = \rho_a + \rho_v \quad (7-1)$$

$$m = m_a + m_v \quad (8-1)$$

## ۱-۲ مشخصات هوا

منظور از مشخصات هوا، خواص هوا مرطوب است. برای پی بردن به وضعیت یک نمونه هوا، هفت مشخصه مهم آن باید تعیین شود. از این هفت مشخصه سه مشخصه دمای خشک، دمای مرطوب و دمای نقطه شبنم قابل اندازه‌گیری بوده و بقیه (رطوبت مخصوص، حجم مخصوص، انتالپی و ...) فقط از طریق روابط حاکم محاسبه می‌شوند. مهم‌ترین مشخصات هوا عبارتند از: دمای خشک، دمای مرطوب، نقطه شبنم، رطوبت، انتالپی، حجم مخصوص، انحراف انتالپی.

### ۱-۲-۱ دمای حباب خشک<sup>۱</sup>

دمای خشک معمولاً به دمای هوا در حالت عادی گفته می‌شود. این دما با دماسنج‌های معمولی و به دور از تشعشع قابل اندازه‌گیری است. بیشتر محاسبات تهویه مطبوع و حرارت مرکزی با استفاده از این دما صورت می‌گیرد.

### ۱-۲-۲ دمای حباب مرطوب<sup>۲</sup>

دمای هوایی که به وسیله دماسنجی، که حباب آن توسط یکپارچه مرطوب پوشانده شده است و با محیط اطراف خود در تماس است، اندازه‌گیری می‌شود را دمای مرطوب می‌نامند. این دما کمتر از دمای هوا خشک است. دمای هوا مرطوب را می‌توان به طور تقریبی می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$T_{wb} \approx T_{db} - (1 - RH)(4.5 + 0.35T_{db}) \quad (9-1)$$

که در این رابطه  $T_{wb}$  دمای مرطوب ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{db}$  دمای خشک هوا ( $^{\circ}\text{C}$ ) و  $RH$  رطوبت نسبی می‌باشد.

### ۱-۲-۳ دمای نقطه شبنم<sup>۳</sup>

اگر هوا مرطوب در حالت غیراشباع را بدون افزایش یا کاهش رطوبت آن در فشار ثابت سرد کنیم (دما را کاهش دهیم) در یک دمای معین، رطوبت موجود در هوا شروع به تشکیل قطرات ریز آب می‌نماید. این دما را نقطه شبنم می‌گویند. نقطه شبنم را می‌توان با پدیده‌های همچون بخار گرفتگی شیشه‌ها در فصول سرد بهتر درک کرد.

### ۱-۲-۴ رابطه دمای خشک، دمای مرطوب و نقطه شبنم

$$\begin{cases} T_{db} > T_{wb} > T_{dp} & \text{برای هوا در حالت غیراشباع} \\ T_{db} = T_{wb} = T_{dp} & \text{برای هوا در حالت اشباع} \end{cases} \quad (10-1)$$

### ۱-۲-۵ هوای اشباع<sup>۴</sup>

اگر رطوبت هوا را افزایش دهیم، زمانی فرا می‌رسد که هوا دیگر قابلیت جذب رطوبت را ندارد و قطرات آب در هوا معلق می‌مانند. این حالت را حالت اشباع می‌گویند. حالت اشباع همان شرایط رطوبت نسبی ۱۰۰٪ است.

<sup>۱</sup> Dry-bulb Temperature

<sup>۲</sup> Wet-bulb Temperature

<sup>۳</sup> Dew Point Temperature

<sup>۴</sup> Saturated Air

## ۶-۲-۱ رطوبت نسبی<sup>۱</sup>

نسبت جرم بخار آب موجود در هوا به جرم بخار آب اشباع در همان هوا (در دمای معین) و به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود.  
به عبارت دیگر می‌توان گفت:

$$\text{رطوبت نسبی} = \frac{\text{میزان رطوبت}}{\text{ظرفیت جذب رطوبت توسط هوا}}$$

$$\phi(RH) = \frac{m_v}{m_s} * 100 \quad (11-1)$$

همچنین سایر تعریف موجود برای رطوبت نسبی به شرح زیر است:

- نسبت فشار جزیی بخار آب موجود در هوا به فشار اشباع بخار آب در همان دمای خشک:

$$\phi(RH) = \frac{P_v}{P_s} * 100 \quad (12-1)$$

- نسبت جرم مخصوص بخار آب موجود در هوا به جرم مخصوص بخار آب موجود در هوا اشباع در همان دمای خشک:

$$\phi(RH) = \frac{d_v}{d_s} * 100 \quad (13-1)$$

## ۶-۲-۲ نسبت رطوبت<sup>۲</sup>

نسبت وزن (یا جرم) بخار آب موجود در هوا به وزن (یا جرم) هوا خشک را نسبت رطوبت (رطوبت مخصوص، محتوای رطوبت، رطوبت مطلق) می‌نامند و واحد آن کیلوگرم بر کیلوگرم هوا خشک ( $\text{kg/kg.da}$ ) یا پوند بر پوند هوا خشک ( $\text{lb/lb.da}$ ) است. (واحد گرین<sup>۳</sup> معادل  $\frac{1}{7,000} \text{ lb/lb.da}$  است).

$$w = \frac{m_v}{m_{dry air}} \quad (14-1)$$

$$w = 0.622 \frac{P_v}{P_a} = 0.622 \frac{P_v}{P - P_v} \quad (15-1)$$

در رابطه فوق  $P_v$  فشار جزیی بخار آب موجود در هوا و  $P$  فشار هوا موجود است.

## ۶-۲-۳ انثالپی هوا

انتالپی هوا مقدار حرارتی است که باید به واحد جرم هوا خشک داده شود تا دمای آن از یک مبدأ دلخواه که انتالپی آن صفر فرض می‌شود به دمای موجود برسد. انتالپی هوا مرطوب مجموع انتالپی هوا خشک و انتالپی بخار آب موجود در آن هوا است.

$$h = h_a + wh_v \quad (16-1)$$

$$h_a = C_{pa} * T = 1.005 \left( \frac{kj}{kg^{\circ}C} \right) * T(^{\circ}C) \quad (17-1)$$

<sup>۱</sup> Relative Humidity

<sup>۲</sup> Grain

<sup>۳</sup> Humidity Ratio